

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Stavební hmoty a diagnostika staveb

**Smíšené zděné konstrukce z cihel a kamene**  
**Combined Masonry Structures from Bricks and Stone**

Student: Kateřina Matýsková  
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tereza Majstríková, Ph.D.

Ostrava 2021

# Zadání bakalářské práce

Student: **Kateřina Matýsková**  
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb  
Téma: **Smíšené zděné konstrukce z cihel a kamene**  
**Combined Masonry Structures from Bricks and Stone**  
Jazyk vypracování: čeština

## Zásady pro vypracování:

Pro zděné konstrukce se využívala a stále využívá celá škála zdících prvků. V minulosti byl k tomuto účelu nejčastěji využíván tesaný nebo lomový kámen, či pálené nebo nepálené cihly. Právě historické konstrukce představují specifické stavby, na nichž byly tyto materiály s výhodou kombinovány, a to tak, aby bylo využito jejich výhodných vlastností. Díky tomu mají smíšené zděné konstrukce charakteristické uspořádání zdících prvků pro konkrétní funkční jednotky. Různorodost použitých materiálů a i specifika výstavby smíšených zděných konstrukcí je třeba vzít v potaz i při diagnostice objektu, jelikož může mít přímou souvislost s výskytem různých vad a poruch. Z tohoto důvodu se tato práce zabývá problematikou smíšených konstrukcí z cihel a kamene a jejich charakteristickými problémy, což představuje znalostní základ pro následnou diagnostiku těchto objektů.

Teoretická část práce bude obsahovat popis historických smíšených zděných konstrukcí a zdících materiálů, se zaměřením na charakteristiky použitých materiálů a specifickou aplikaci jednotlivých zdících prvků. Dále zde budou uvedeny informace o typických vadách a poruchách smíšených zděných konstrukcí. V rámci praktické části bude proveden předběžný průzkum vybraného objektu, v rámci nějž budou detekovány jednotlivé vady a poruchy tohoto objektu. Následně budou na odebraných vzorcích zdících prvků (zejména kamene a cihel plných pálených) specifikovány jejich fyzikálně – mechanické charakteristiky. Na základě těchto testů budou zkoušené materiály zhodnoceny a taktéž bude posouzena vhodnost jejich aplikace v konstrukci samotné.

## Seznam doporučené odborné literatury:

HANYKÝŘ, V., KUTZENDÖRFER, J.: Technologie keramiky, Praha: Silikátový svaz, 2008. ISBN: 978-80-86821-48-1.

KOLEKTIV AUTORŮ: Vybrané kapitoly k tématu péče o stavební a umělecké památky II. Díl. Praha: Idea servis, 2008. ISBN 978-80-85970-62-3.

RYBAŘÍK, V.: Ušlechtilé stavební a sochařské kameny České republiky, Hořice v Podkrkonoší: Nadace Střední průmyslové školy kamenické a sochařské, 2014. ISBN 80-900041-5-6.

ŠKABRADA, J.: Konstrukce historických staveb. Praha: ARGO, 2007. ISBN 80-7203-548-7.

WITZANY, J., et al.: PDR – Poruchy, degradace a rekonstrukce. Praha: ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.

ČSN EN 772-1 Zkušební metody pro zdící prvky - Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku (2016)

ČSN EN 772-4 Zkušební metody pro zdící prvky - Část 4: Stanovení hustoty, objemové hmotnosti a celkové a otevřené pórovitosti zdících prvků z přírodního kamene (1999)

ČSN EN 772-11 Zkušební metody pro zdící prvky - Část 11: Stanovení nasákavosti betonových tvárnic a zdících prvků z umělého a přírodního kamene vlivem kapilarity a počáteční rychlosti nasákavosti pálených

zdicích prvků (2011)

ČSN EN 772-13 Zkušební metody pro zdicí prvky - Část 13: Stanovení objemové hmotnosti materiálu zdicích prvků za sucha a objemové hmotnosti zdicích prvků za sucha (kromě zdicích prvků z přírodního kamene) (2001)

ČSN EN 772-21 Zkušební metody pro zdicí prvky - Část 21: Stanovení nasákavosti pálených a vápenopiskových zdicích prvků ve studené vodě (2011)

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tereza Majstříková, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2020

Datum odevzdání: 30.04.2021



---

doc. Ing. Vlastimil Bílek, Ph.D.  
*vedoucí katedry*

---

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
*děkan fakulty*

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucí práce Ing. Terezy Majstríkové Ph.D. a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....  
podpis studenta



## Prohlašuji, že

- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠBTUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠBTUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až o jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

## Poděkování

Chtěla bych velmi poděkovat vedoucí mé bakalářské práce, paní doktorce Ing. Tereze Majstríkové, Ph.D., za veškeré cenné rady, její pečlivou korekci a pomoc, kterou mi poskytovala po celou dobu vypracovávání této práce. Dále bych také chtěla poděkovat panu Ing. Davidu Bujdošovi za výpomoc v rámci provádění prací v laboratoři stavebních hmot a diagnostiky staveb. V neposlední řadě patří mé velké díky také majitelům zkoumaného objektu, panu Vlastislavu Kuchařovi, PaedDr., a paní Vítězslavě Kuchařové, za možnost použít jejich stavbu pro bližší zkoumání a odebrání potřebných vzorků, ale také za jejich ochotu při poskytování všech potřebných informací.

## Anotace

Pro tvorbu zděných konstrukcí se odjakživa využívalo velké množství různých materiálů, které se značně odlišovaly svými charakteristickými vlastnostmi. Aby bylo dosaženo co možná nejlepších výsledných charakteristik zdiva, docházelo mnohdy ke kombinování stavebních hmot v jednotlivých konstrukčních dílech. Takto rovněž vzniklo smíšené zdivo z cihel a kamene. Nejenže zvolením této kombinace došlo ke značným finančním úsporám, jelikož cihly byly v historii vzácnější a dražší než přírodní kámen, ale bylo možné také odlehčit potřebné konstrukční díly stavebního objektu, jako byly např. překlady, klenby apod.

V teoretické části mé práce se zabývám nejen jednotlivými vlastnostmi cihel a kamene, ale také historií jejich použití s uvedením možných způsobů kombinací cihel a kamene při provádění historických zděných konstrukcí. V této části práce je taktéž shrnuta problematika veškerých vad a poruch, které lze na objektech pozorovat, a metodika provádění stavebně technického průzkumu staveb. Praktická část je založena na provedení stavebně technického průzkumu objektu, na kterém se uplatňuje kombinace cihel a kamene. V předběžné fázi průzkumu byl popsán zkoumaný stavební objekt, včetně zaznamenání nálezů veškerých vad a poruch. Podrobná fáze průzkumu poté zahrnovala provedení diagnostických měření na odebraných vzorcích v laboratořích. Pro porovnání vlastností cihel a kamene bylo provedeno zkoumání vybraných fyzikálních a mechanických charakteristik. Na základě výsledků bylo možné porovnat tyto parametry použitých zdících prvků.

## Klíčová slova

Pálená cihla, přírodní kámen, smíšené zdivo, stavebně technický průzkum, fyzikální a mechanické vlastnosti

## Annotation

A large number of different materials have always been used for the creation of masonry structures, which differed greatly in their characteristic properties. Building materials were often combined in individual components to achieve the best possible results of masonry. This is also way how mixed brick and stone masonry was created. This combination results not only in considerable financial savings, because bricks were rarer and more expensive than natural stone in history, but it was also possible to lighten the necessary components of the building, such as translations, vaults, etc.

In the theoretical part of my work, I deal not only about the individual characteristics of bricks and stone, but also about the history of their application with presentation of possible combination of brick and stone in the construction of historical masonry structures. This part of the thesis also summarizes the issue of defects and damages that can be observed on the structures and the methodology of technical building investigation of the objects. The practical part is based on performance of technical building investigation of the structure, on which the combination of stone and bricks exist. In the preliminary phase of the investigation, the investigated structure was

described, including the determination of all defects and damages. The detailed phase of the investigation then included diagnostic measurements on the taken samples in laboratories. The examination of the selected material characteristics was performed to compare the properties of the bricks and stone. Based on the results, it was possible to compare the reliability of this masonry elements.

## **Key words**

Burnt brick, natural stone, mixed masonry, technical building investigation, physical and mechanical properties

# Obsah

I. Teoretická část .....	1
1. Materiály pro smíšené zděné konstrukce .....	1
1.1 Cihla .....	1
1. 1. 1. Historická výroba cihel.....	3
1. 1. 2. Současná výroba cihel .....	4
1. 1. 3. Sortiment .....	5
1. 1. 4. Vlastnosti .....	6
1. 2. Kámen.....	7
1. 2. 1. Druhy hornin.....	7
1. 2. 2. Výskyt hornin na našem území.....	8
1. 2. 3. Vlastnosti hornin.....	10
1. 2. 4. Opracování kamene.....	12
1. 3. Malty a omítky.....	13
1. 3. 1. Složení a vlastnosti .....	13
1. 3. 2. Historické malty .....	14
2. Kombinace cihel a kamene na stavbách.....	16
2. 1. Zdivo z cihel plných pálených .....	16
2. 2. Zdivo z kamene .....	17
2. 3. Zakládání a podzemní části staveb .....	19
2. 4. Smíšené zdivo .....	19
2. 5. Emplekton.....	20
2. 6. Armatury.....	20
2. 7. Nadpraží (překlady) .....	21
2. 8. Záklenky.....	21
2. 9. Cihla jako výplňový materiál.....	22
3. Vady a poruchy zděných konstrukcí .....	23
3. 1. Mechanické a deformační poškození .....	23
3. 2. Vlhkostní problematika .....	25
3. 3. Degradční faktory .....	26
3. 3. 1. Fyzikální degradace.....	26
3. 3. 2. Chemická degradace.....	27
3. 3. 3. Mikrobiologická a biologická degradace .....	29
4. Stavebně technický průzkum .....	31

4. 1. Předběžný stavebně technický průzkum .....	33
4. 2. Podrobný stavebně technický průzkum .....	33
4. 3. Doplnkový průzkum .....	33
I. Praktická část .....	34
5. Stodola v Karlovicích, oblast Jeseníky .....	34
5. 1. Popis stavebního objektu .....	34
5. 2. Předběžný stavebně technický průzkum .....	36
5. 3. Vyhledání zdrojů stavebních hmot .....	40
5. 4. Podrobný stavebně technický průzkum .....	42
5. 4. 1. Odběrná místa vzorků, značení vzorků .....	42
5. 4. 2. Stanovení objemové hmotnosti cihel plných pálených .....	43
5. 4. 3. Stanovení objemové hmotnosti kamene .....	45
5. 4. 4. Stanovení nasákavosti zdících prvků .....	46
5. 4. 5. Stanovení nasákavosti vody kapilárním vztlínáním .....	50
5. 4. 6. Stanovení obsahu vodorozpustných solí ve zdících prvcích .....	53
5. 4. 7. Stanovení pevností zdících prvků v tlaku .....	57
5. 5. Zhodnocení .....	63
6. Závěr .....	66
Seznam použitých zdrojů .....	67
Seznam použitých norem .....	67
Seznam použité literatury .....	67
Seznam použitých internetových odkazů .....	68
Seznam obrázků .....	69
Seznam tabulek .....	70
Seznam příloh .....	71

## Seznam použitého značení

A	Plocha vzorku, která je v kontaktu s vodou	[m <sup>2</sup> ]
C	Koncentrace jednoho iontu v roztoku	[mg/l]
F	Faktor konverze ml na l	[F = 1000]
I	Váhové procento [mg/mg] jednoho kationtu nebo aniontu	[%]
m <sub>a</sub>	Hmotnost nasyceného povrchově osušeného vzorku	[kg]
m <sub>b</sub>	Celková hmotnost pyknometru, kameniva a vody	[kg]
m <sub>c</sub>	Celková hmotnost pyknometru s vodou	[kg]
m <sub>d</sub>	Hmotnost vysušeného vzorku	[kg]
M <sub>d</sub>	Hmotnost vzorku po vysušení	[g]
m <sub>dry,u</sub>	Hmotnost zdícího prvku za sucha	[kg]
m <sub>i</sub>	Hmotnost vzorku v čase t <sub>i</sub>	[kg]
M <sub>s</sub>	Hmotnost vzorku po ukončení nasycování	[g]
m <sub>0</sub>	Hmotnost suchého vzorku	[kg]
P	Hmotnost prášku připraveného z primárního vzorku	[mg]
R	Pevnost v tlaku	[MPa]
R <sub>m</sub>	Výběrový průměr zjišťované pevnosti v tlaku	[MPa]
S <sub>r</sub>	Výběrová směrodatná odchylka	[-]
t <sub>n</sub>	Součinitel pro odhad dolní hranice konfidenčního intervalu	[-]
V	Objem extrakční vody	[ml]
V <sub>g,u</sub>	Objem zdícího prvku	[m <sup>3</sup> ]
W <sub>s</sub>	Nasákavost vzorku	[%]
γ <sub>a</sub>	Specifická konduktivita připraveného vzorku	[μS/cm]
γ <sub>b</sub>	Specifická konduktivita ultračisté vody	[μS/cm]
ρ <sub>g,u</sub>	Objemová hmotnost zdícího prvku za sucha	[kg/m <sup>3</sup> ]
ρ <sub>w</sub>	Hustota vody	[kg/m <sup>3</sup> ]



## I. Teoretická část

Při pomýšlení na zděné konstrukce si každý představí širokou škálu všemožných zdících materiálů a zdivo, které je povětšinou tvořeno jen z jednoho druhu stavební hmoty. Na historických stavbách si však můžeme velmi často povšimnout právě uplatnění smíšeného zdiva, které je použito v mnohých konstrukčních variantách. Vzhledem k mé zálibě k historii a návštěvám především středověkých hradů a zřícenin jsem si povšimla častého uplatnění právě kombinovaného zdiva. Při bližším zkoumání mě začalo zajímat, jak je možné, aby tak velmi odlišné materiály, jako je kámen a pálená cihla, mohly společně v těchto konstrukcích fungovat.

V teoretické části mé bakalářské práce se budu zabývat historií, výrobou a charakteristickými vlastnostmi jednotlivých materiálů smíšeného zdiva. Rovněž se zaměřím na uplatnění těchto prvků v konstrukčních dílech stavebních objektů. Je nutné také zmínit vady a poruchy, se kterými se můžeme u staveb tohoto typu setkat.

### 1. Materiály pro smíšené zděné konstrukce

Pro vyzdívání je od pradávna využíváno velké množství materiálů i tvarově odlišných zdících prvků, a to od prvopočátku lidstva, kdy pro zděné konstrukce využívali především nepravidelného lomového kamene, až po rozvoj tvarově určených pálených cihel. Samozřejmě cesta k vypalování cihel nebyla tak přímočará. Jako první začali lidé všemožně upravovat kameny pro ulehčení práce na stavbách, takto vznikly např. prvky z tesaného kamene a mnohé další druhy zdících prvků. Jílové materiály se na stavbách nejdříve uplatňovaly pouze jako hlíny nanášené na vytvořený nosný rošt z rákosů apod. Později byl jílu dáván jakýsi tvar a začala se rozvíjet výroba nepálených cihel, která se plynule rozšířila v technologii vypalování zdících prvků. V dnešní době je sortiment stavebních výrobků pro zdění značně rozvinut a pro výstavbu je k dispozici nepřeberné množství různých zdících tvárnic, ať už z vylehčených betonů nebo keramiky, a mnohé další prvky.

Každý materiál, který byl pro zděné konstrukce na historických stavbách využíván, má své charakteristické vlastnosti a podléhá různou měrou různým způsobům degradace. V případě smíšeného zdiva je tedy nutné se zaměřit na každý prvek individuálně. Stavitelé se snažili využít při stavbách nejlepších vlastností použitých materiálů. Díky této snaze jsou kombinace cihel a kamene používány na objektech vždy v obdobných formách, např. hmotnostně lehčí cihly jsou použity pro vytvoření nadpraží v jinak těžkém kamenném zdivu, pro exponované části se používají naopak kamenné prvky apod.

#### 1.1 Cihla

K výrobě cihel se používají jíly, nebo lidově řečeno hlíny. Jedná se o přírodní suroviny, které byly využívány již v prehistorickém období. První uplatnění nacházeli spíše pro výrobu tzv. „užitkové keramiky“, jednalo se především o různé nádoby, do kterých byly uschovávány potraviny. Jíly lidé využívali také pro stavby svých příbytků. Původně byla hlína pouze stlačována do několika vrstev nad sebou, které se následně upravovaly do potřebného tvaru, nebo byla udusána do předem

připravených bednění. Následně se začalo využívat nepálených zdících prvků, jednalo se o tzv. vepřovice nebo války. [11]

Nepálené zdící prvky můžeme zcela jistě zařadit mezi nejstarší stavební materiály (obr. 1). Nepálené hlíny se pro zdící prvky upravovaly dle dvou technologií. Prvním způsobem byla tvorba nepálených cihel, tzv. vepřovic. Ty dostaly svůj název podle prasečích štětín, které se do jílové hmoty přidávaly. Byly vytvářeny pomocí dřevěných forem, do kterých se natlačila jílová směs a nechala se vysušit. Dalším způsobem výroby bylo zhotovování tzv. válek. Byly to ručně hnětené bločky, které se však do zdiva, na rozdíl od nepálených cihel, aplikovaly v nevysušeném stavu. Ve starších obdobích se nepálená hlína využívala obvykle pro výstavbu příbytků a hospodářských budov, případně pro vojenské objekty, jako např. ohrazení a hradby. Až později se začaly využívat nepálené cihly pro tvorbu venkovské architektury. [11]



Obrázek 1: Objekt postavený z nepálených cihel [11]

Přibližně v období středověku byla v našich zemích zahájena výroba pálených zdících prvků. Pálená stavební keramika se stala hojně využívanou v podobě vlastních konstrukčních prvků, jako byly zdící cihly nebo střešní krytina, své využití však našla také v různých ozdobných prvcích interiérů staveb v podobě např. obkladů a dlažeb. První pálené cihly nalezené na našem území pocházeli z období, kdy římsí legionáři budovali vojenské opevnění, tedy z dob prvních století našeho letopočtu. Samotná výroba pálených cihlářských výrobků zde však byla zavedena mnohem později, až přibližně v 10. století n. l. [11]

Rozvoj využívání cihel ve stavební praxi můžeme zařadit do období pozdně románské a raně gotické architektury. Rozmach výroby tohoto prvku můžeme připsat především mnišským řádům. V historických podkladech se dočteme především o řádu cisterciáků, kteří vytvářeli klášterní stavební hutě pro výrobu pálených cihel. Stavebním hutím jsou zadávány práce na církevních stavbách (obr. 2). Pro svou finanční náročnost jsou zprvu cihly využívány pouze v kombinaci s kamenem. Celé cihelné zdi nalezneme až v dobách pozdějších. V pozdně gotických stavbách se cihly hojně využívají pro vyšší a odvážnější klenby. Pro vyzdívání celých objektů se na našem území začalo cihelných výrobků využívat ve 14. století. Největší rozmach cihlářské výroby nastal v 19. století. Vzhledem k událostem ze začátku tohoto století, které vedly k vyhlášení přísného zákazu vytváření dřevěných

staveb a také povolení vypalování cihel na svém pozemku pro své i obchodní účely, se začalo vyzdívání z cihel projevovat také na venkovských stavbách. [15, 17]



Obrázek 2: Cihelné zdivo kostela sv. Petra a Pavla v Kralovicích z 2. poloviny 16. století [17]

### 1. 1. 1. Historická výroba cihel

Princip výroby cihelných prvků se neměnil již od období Mezopotámie. Základním prvkem pro výrobu byly od nepaměti jílovité hlíny, které měly nízký obsah vápníku, a vápenatý písek, nejčastěji spraše. Při výrobě bylo nutné nejprve odstranit veškeré nežádoucí nečistoty, především organické zbytky a kameny. Hlína se nechala odležet a následně bylo do ní vloženo tzv. ostřivo. Jedná se o příměs, která má za úkol akumulovat teplo a zajistit prohřívání prvku v celém objemu bez jeho popraskání a zabránit deformacím během sušení. Obvykle se pro tyto účely používal křemičitý písek. Pokud chtěli vytvořit pórovitý prvek, pak místo písku přidávali lehčivo, např. nasekanou slámu, které během výpalu vyhořelo, a tak vznikly póry uvnitř struktury. [20]

Po připravení cihlářské směsi došlo k jejímu zpracování pomocí dřevěných či plechových forem. Forma pro tvarování byla o 8 mm větší, než byl požadovaný rozměr výsledného prvku. Tohoto bylo využíváno především z důvodu smršťování cihly během výroby. Forma se ukládala na hladkou desku, poté byla navlhčena a posypána jemným pískem. Po přípravě formy došlo k jejímu naplnění vhodným množstvím cihlářské hlíny. Horní plocha uložené hlíny se zarovnávala s okrajem formy. U gotických cihel je možné si povšimnout následků podélného zahlazování prsty. [20]

Když byla forma důkladně naplněna, došlo k jejímu sejmutí a na desce zůstala měkká hmota. Poté nastala fáze sušení cihel, ta trvala několik týdnů, nebo dokonce i měsíců. Sušení probíhalo uložením prvků do stinného a dobře větraného místa. Sušení je nepostradatelný proces každé cihlářské výroby. Hlína totiž obsahuje jílovité složky, které mohou být tvořeny z jílovitých minerálů ze skupiny kaolinitu, illitu a montmorillonitu. Nebezpečnost těchto minerálů spočívá ve schopnosti způsobovat bobtnání, tedy přijímat vodu do vrstevnatých struktur. Během sušení se cihlářská hlína zbavuje mechanicky vázané vody. Při tomto procesu dochází k jejímu smrštění o 2 – 10%. [20]

Cihly se po důkladném vysušení vkládaly do pecí různých tvarů. Každá pec byla vybavena průduchy pro dostatečnou regulaci proudění vzduchu, ty se dle potřeby zasypávaly kamením, nebo zazdívaly. Cihly se ukládaly na zděné lavice, nebo speciálně upravenou podlahu, aby nedocházelo k přímému kontaktu plamenů s výrobky. Z důvodu zajištění rovnoměrného prohřívání se cihly vedle sebe ukládaly s dostatečnými rozestupy. Ze začátku výpalu se hoření utlumovalo, aby nejprve došlo

k odpařování vlhkosti. Proces dosušování trval obvykle několik dní. Až když dým, který vycházel z pece, přestal být mastný, byl zahájen vlastní výpal. Došlo k otevření přívodu vzduchu a teplota v peci se postupně začala zvyšovat až na 800 – 900 °C. Nakonec procesu výpalu byly opět průduchy uzavřeny a došlo k dopálení cihel. Po vychladnutí pece, byly cihly odebrány a poškozené kusy vyřazeny. Cihly mívaly různou kvalitu a barvu, která byla závislá na vzdálenosti prvku od středu ohniště. [20]

### 1. 1. 2. Současná výroba cihel

Základní princip výroby se výrazně neliší od toho historického. Hlavní rozdíl je v tom, že vše probíhá za použití strojní techniky pro urychlení výroby.

Pro výrobu využíváme plastických (tvárnivých) a neplastických (netvárnivých) surovin. Mezi plastické suroviny řadíme cihlářské jíly a hlíny. Tyto suroviny vytvoří po smíchání s vodou plastické těsto, to můžeme následně tvarovat, sušit a vypalovat do finální podoby. Neplastické suroviny používáme pro upravování vlastností plastické směsi. Do této skupiny patří sedimentární horniny, nebo různé popílký, kaly a piliny.

Prvním krokem při výrobě je natěžení potřebných surovin. Cihlářské suroviny těžíme z tzv. hlinišť a dopravujeme do závodu pomocí nákladních vozidel nebo dopravních pásů. Výrobní závod se nachází vždy v blízkosti těžebního prostoru, aby nebyla doprava vytěžené suroviny komplikovaná. V první fázi se nechají suroviny odležet pro vytvoření zásob a dostatečné homogenizaci surovin.

Po dostatečném odležení cihlářských surovin přichází samotná příprava směsi. Jedná se o úpravu suroviny pro získání co nejlepších vlastností. U surovin se může upravovat jejich zrnitost, redukuje se množství vody potřebné pro přípravu těsta, dodávají se jednotlivá ostriva, lehčiva a další příměsi. Důležitým krokem přípravy je také propařování suroviny horkou párou a následné odvzdušnění těsta ve vakuové komoře šnekového lisu. Výsledná vlhkost těsta po přípravě činí 18-22 %. [9]

Po přípravě těsta je na řadě tvarování cihel různých rozměrů a tvarů (obr. 3). Jednou z možností je nalévání plastického těsta do forem určujících požadovaný tvar nebo využití revolverových lisů. K tvarování je však možné použít také protlačování pomocí šnekových lisů. Protlačení skrz tvarované ústí nám zajistí ustálený profil, který je následně odřezáván na jednotlivé prvky. Vytvarovaným tělesům je nutné snížit vlhkost na požadovanou hodnotu 1-2%. Výrobky se tedy umísťují do kanálových nebo komorových sušáren, kde dochází k vysoušení po dobu 12 hodin až 3 dnů. [13]

Po dostatečném vysušení v sušárně nastává samotný výpal. Nejčastěji se pro výpal používají tunelové pece, ty totiž umožňují nepřetržitý provoz. Stejně jako u historického způsobu výroby probíhá výpal v pecích ve třech krocích. Tunelová pec je rozdělena na 3 části, první je část zahřívací, do které jsou vkládány vytvarované prvky, následuje část pro výpal, ten probíhá při teplotě 900-1200°C, a poslední část slouží k postupnému ochlazování finálních výrobků. Po dokončení ochlazení dochází ke kontrole kvality výrobků a vyřazení nevhodných kusů. [13]



Obrázek 3: Výrobní linka na lícové cihly firmy Roben; pořízeno autorem

### 1. 1. 3. Sortiment

Ze začátku uplatňování cihel jako stavebního materiálu není ustálen rozměr těchto prvků. Cihlářské výrobky byly upravovány dle poptávky. Jejich velikosti a tloušťky byly přizpůsobovány na základě zamýšleného použití. Pokud bylo určeno použití cihel do zdiva, pak se využívalo větších formátů, pro klenby se naopak volila spíše menší cihla, s kterou se lépe pracovalo. Kromě klasických prvků pro vyzdívání, jako byly cihly a tvarovky, se hojně vytvářely také prefabrikáty na provádění klenebních žeber, různé profilované a zdobené dílce pro vytváření honosných portálů či ostění, cihlářské výrobky pro dekorace, armatury a mnohé další prvky. [17]

V období gotiky se nejvíce využívalo cihel s větší tloušťkou - 8 cm a více. U renesančních a barokních staveb dochází ke zmenšování a zplošťování cihel. Cihly byly obvykle dlouhé 20-25 cm, široké až 17 cm a tloušťku měly okolo 6 cm. V menším množství se začaly vypalovat také větší prefabrikované dílce, kterých se využívalo pro snadnější vytváření okenních a dveřních ostění. Až pravděpodobně v 19. století jsou aplikovány dva formáty, tzv. rakouský (30 x 15 x 7,5 cm) a menší tzv. německý (25 x 12,5 x 7,5 cm). Zároveň bývá u cihel patrné kolkování (obr. 4). Jedná se o to, že každá cihla má v horní ložné ploše ražbu znaku cihelny, kde byla vyrobena. [17]



Obrázek 4: Cihelné prvky včetně kolkování [11]



Vzhledem k velkému rozmachu cihlářské výroby v 19. století, se začaly vyrábět mnohé další cihlářské prefabrikáty, především pro zdobení průčelí staveb. Jednalo se o různé desky pro parapety, zdobené hlavice pilastrů apod. V 2. polovině 19. století se začíná rozvíjet také vícepodlažní výstavba objektů z pálených cihel. Pomalu tedy dochází ke sjednocování formátu cihel a využívání standardního cihelného formátování, jak jej známe i dnes, tedy 29 x 14 x 6,5 cm. [17]

S postupným rozvojem stavitelství se začíná rozvíjet také technologie a sortiment používaných stavebních materiálů. Vzhledem k požadavku na rychlost výstavby se pomalu upouští od použití klasických cihel plných pálených a začíná se rozvíjet výroba cihelných tvárnic. Na dnešním trhu máme rozsáhlou nabídku všemožných tvárnic, které splňují různé požadavky na výstavbu. Jedná se o cihelné tvárnice vylehčené dutinami, různé tvarovky s dutinami vyplněnými izolačním materiálem, jako je např. minerální vata, nebo také polystyrén, akustické tvárnice atd. Pro usnadnění zdíciho procesu nabízejí také distribuční firmy doplňkové výrobky, kterými jsou rohové, krajové, vyrovnávací a různé další speciálně upravované cihly. K vyzdívání cihelných tvárnic se nejčastěji používá tzv. systém na pero-drážku, který umožňuje vyzdívání bez použití malty ve styčných spárách. Možné je však také použití přesných tvárnic, které jsou vyzdívány na pěny, nebo tenkovrstvou maltu. Když ještě chvíli zůstaneme u výstavby svislých nosných konstrukcí, pak je nutné zmínit, že jsou vytvářeny také nosné a nenosné překlady pro překlenutí otvorů různých světlostí.

Kromě cihelných prvků pro vytváření svislých nosných konstrukcí, se vyrábějí také prvky pro vodorovné nosné konstrukce. V historii se cihly využívaly především pro vytváření kleneb, jak jsem již zmínila výše. Postupem času se však začalo rozvíjet využívání cihelných prefabrikátů pro vytváření rovných stropních konstrukcí. Prvním průkopníkem takovýchto stropů byl tzv. HURDIS strop. Jedná se o stropní konstrukci tvořenou z ocelových nosníků, na jejichž příruby ukládáme cihelné tvarovky s rovným nebo šikmým čelem, tzv. hurdisky. Přestože bylo použití těchto stropů v minulosti rozsáhlé, začalo se od něj postupně upouštět. Omezení používání způsobilo to, že často u těchto stropů docházelo k samovolnému zřícení, z důvodu nesprávného technologického způsobu montáže. Dnes jsou nejčastěji využívány stropy tvořené keramobetonovými stropními nosníky, mezi které jsou vkládány keramické stropní vložky.

Sortiment cihlářských výrobků je na dnešním trhu opravdu rozsáhlý. Nenalezneme zde tedy pouze tvárnice pro vytváření nosných i nenosných stěn, či prvky pro stropní konstrukce. Můžeme nakoupit různé cihly pro lícové zdivo, ale nesmíme zapomenout také na pálenou střešní krytinu. Střešní tašky jsou dodávány v různém tvarování a díky glazurám a engobám si můžeme vybrat z většího množství barevného řešení. V neposlední řadě můžeme použít cihelné prvky i v interiéru, a to díky rozsáhlému sortimentu keramických obkladů a dlažeb.

#### 1. 1. 4. Vlastnosti

Výsledné vlastnosti cihelných zdících prvků se odvíjí od kvality zvolených výchozích surovin, způsobu jejich zpracování a v neposlední řadě také od teploty výpalu.

U cihelných výrobků sledujeme hned několik základních parametrů, které nám následně ovlivňují celkovou životnost konstrukce. Významnou vlastností je objemová hmotnost, ta se odvíjí od obsahu pórů ve zdícím prvku. Objemová hmotnost je tím nižší, čím vyšší je výsledný obsah pórů. Na základě velikosti objemové hmotnosti jsou ovlivňovány také další parametry, např. pevnost

v tlaku. Pevnost v tlaku je další ze základních sledovaných charakteristik, protože nám výrazně ovlivňuje stabilitu celé konstrukce. Velikost výsledné pevnosti v tlaku však není dána pouze objemovou hmotností, ale také nasákavostí a vlhkostí, proto se musíme důkladně zabývat také pórovitostí. Ta udává objem uzavřených a otevřených pórů ve vzorku k celkovému objemu.

Pálené keramické prvky hojně využíváme, protože mají dobré tepelně a zvukově izolační vlastnosti, jsou mrazuvzdorné, nehořlavé a dlouhodobě trvanlivé. Vzhledem k aktuálnímu sledování vlivů na ekologii je možné říct, že velkou výhodou těchto výrobků je jejich ekologická výroba, používání a v neposlední řadě také snadná recyklace. V tabulce č. 1 jsou uvedeny některé základní cihelné zdicí prvky a jejich základní vlastnosti. [9]

Tabulka 1: Vlastnosti vybraných cihelných prvků [9]

Označení výrobku	Rozměr [mm]	Hmotnost [kg]	Objemová hmotnost $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Pevnost v tlaku $\sigma$ [MPa]
Vepřovice	290x140x60	4,9	2000	5
Cihla plná pálená	290x140x65	4,5	1600-1900	15
Cihla děrovaná	290x290x140	13	1100	10
Cihla vylehčená	190x145x140	5,8	1000-1100	10
Porotherm 44 profi	440x248x249	20,4	750	15
Keratherm P+D	440x245x238	20,4	734	10

## 1. 2. Kámen

Kámen je nejpoužívanější materiál v dějinách lidstva již od období pravěku. Tento materiál je totiž nejdostupnější bez jakékoliv nutné přípravy, nejčastěji byl pouze sesbírán a následně použit pro výstavbu objektů. [17]

Z počátku byl využíván pro stavebnictví především lomový kámen, který byl následně kamenicky upravován. Byly z něj vytvářeny objekty většího významu, především sakrální stavby. S postupně rozvíjející se společností byl kladen důraz na výstavbu odolných a trvanlivých příbytků, proto začali stavitelé používat kámen také pro tuto výstavbu. Poté, co se začaly pro vyzdívání využívat cihly, docházelo postupně k úpadku použití kamenných stavebních prvků. V moderní architektuře se stavitelé navrací k použití kamene jako stavební hmoty. Kamenné bloky jsou totiž nejen odolným konstrukčním materiálem, ale dotváří objekt taktéž po stránce estetické. Kámen se tedy začal používat pro vytváření dekorativních ploch na fasádě, ale i uvnitř objektu. Toto použití mu bylo ponecháno i v dnešní době. [11]

### 1. 2. 1. Druhy hornin

Vznik hornin je ovlivněn geologií Země. Horniny vznikají při různých geologických činnostech. Na základě způsobu jejich vzniku je dělíme do tří základních skupin:

- **horniny vyvřelé** (magmatické);
- **horniny usazené** (sedimentární);
- **horniny přeměněné** (metamorfované). [11]



Horniny magmatické vznikají díky krystalizaci, která probíhá při chlazení vulkanické taveniny neboli magmatu. Starší horniny zvětřávají a následně se usazují, čímž se nejčastěji tvoří horniny sedimentární. Vznik sedimentů mohou ovlivňovat také jiné organické materiály, či chemické reakce, jako např. vysrážení různých roztoků. Vzhledem k tomu, že se horniny usazují postupně, dochází často ke vzniku vrstevnaté struktury sedimentárních hornin. Ke tvorbě metamorfovaných hornin dochází rekrystalizací předešlých dvou horninových skupin. [11]

Klasifikací hornin a jejich celkovým studiem se zabývá petrografie. Na základě petrografického popisu jsme schopni zařadit horniny do jednotlivých skupin. Můžeme ale také vysvětlit jevy, které ovlivňují mechanické, fyzikální a chemické chování přírodního kamene. Základem pro makroskopické i mikroskopické určování hornin je především jejich mineralogické složení. Při popisu se zabýváme prioritně minerály, které jsou v hornině obsaženy ve větším množství, ale ani ty v podružné kvantitě nesmíme opomenout. Vzájemný vztah mezi minerály a jejich prostorové uspořádání popisujeme texturou a strukturou dané horniny. Dále sledujeme také rozměry zrn a jejich tvar, či členitost povrchu horniny. [11]

### 1. 2. 2. Výskyt hornin na našem území

Eruptiva neboli horniny magmatického původu členíme na základě podílu křemene, nebo přesněji oxidu křemičitého na:

- horniny kyselé – obsah křemene větší než 65 %;
- horniny neutrální – obsah křemene 52 % – 65 %;
- horniny bazické – obsah křemene 44 % - 52 %;
- horniny ultrabazické – obsah křemene menší než 44 %. [11]

Často se můžeme setkat s klasifikací magmatických hornin na základě kvality a množství světlých minerálů. Díky tomu rozlišujeme světlá intruziva, tmavá intruziva a trachyty. Nejznámějším představitelem magmatických hornin jsou žuly (**světlá intruziva**). Pod pojem žula se zařazují nejen skutečné žuly (granity), ale také granodiority a křemenné diority. Tyto horniny je totiž velmi těžké od sebe vizuálně rozlišit. Rozdíl mezi nimi je pouze v obsahu křemene, tmavých minerálů a charakteru živců. Každá žula má své charakteristické označení dle místa, kde byla vytěžena. Požárskou nebo kozárovickou žulu nalezneme ve středních Čechách v okolí Posázaví. V blízkosti Telče, která se nachází na česko-moravském pomezí, můžeme nalézt tzv. mrákotínskou žulu. Libereckou žulu, jak již název napovídá, budeme hledat v okolí Liberce na krkonošsko-jizerském území. Nesmíme zapomenout také na lomy v severozápadním Slezsku v blízkosti Žulové, tam se těží tzv. slezská žula. [11]

V podstatně menším zastoupení se na našem území vyskytují také **tmavá intruziva** (syenity). Zde řadíme horniny jako gabro, diorit a další (křemenné gabro, gabrodiorit, atd.). Určování tmavých intruziv je složitější než u světlých intruziv, především kvůli tomu, že horniny mezi sebou plynule přecházejí, dokonce i ve stejném ložisku. Vzhled horniny se v jednom ložisku může také lišit, což je způsobeno střídavým zastoupením shluků a žilek různobarevných minerálů. Lomy tmavých intruziv nalezneme na našem území především ve středních Čechách. Lomařské oblasti tak budeme hledat u Velkých Popovic, kde se těží tzv. popovický syenit, nebo v Dolním Posázaví, tam narazíme na tzv. babický syenit. Další lomy se nachází také na Prachaticku, kde se těží tzv. prachatický nebo

šumavský syenit, a na Šluknovsku v okolí Šluknova, Harrachova a Lipové, kde probíhá těžba tzv. šluknovského syenitu. [11]

Poslední skupinou vyvřelých hornin jsou tzv. **trachyty**. Ty se na našem území vyskytují na Mariánskolázeňském území v okolí Teplé (tzv. tepelský trachyt) a na Děčínsku (tzv. valkeřický trachyt). [11]

Druhou skupinou hornin jsou sedimenty. Mezi nejvyužívanější sedimentární horniny na našem území patří **pískovce**. Tyto horniny se skládají ze zrn písků (psamitů) a základní hmoty zejména z jílových minerálů (tzv. matrixu). Jednotlivé pískovce rozlišujeme podle velikosti psamitických zrn (0,063 – 2 mm) na jemnozrnné, střednězrnné a hrubozrnné. Pokud jsou kameny tvořeny většími frakcemi zrn (psefity), pak se jedná o tzv. slepence (slepenčité pískovce nebo písčité slepence), případně brekcie. Pískovaná zrna jsou spojována pomocí tmele, který ovlivňuje výsledné zbarvení a fyzikálně-mechanické vlastnosti pískovců. S ohledem na mineralogické složení tmelů se pískovce zbarvují následovně:

- bílé až šedé (křemičitý, kalcitický nebo kaolinitický tmel);
- okrové až rezavohnědé (železitý tmel);
- nazelenalé (glaukonitický tmel). [11]

Pískovce lze klasifikovat na základě poměru obsahu křemene a úlomků klastických hornin k obsahu živců a úlomků nestabilních hornin a k obsahu základní hmoty (matrixu). Podle těchto poměrů rozlišujeme pískovce na křemenné pískovce, droby a arkózy. Tyto druhy hornin jsou dosud těženy ve velkém množství rozsáhlých, ale i místních lomů. Nejvýznamnější sochařská díla a stavební památky jsou vytvářeny ze střednězrnné až hrubozrnné arkózy bělošedé až načervenalé barvy. Tato hornina se těží v blízkosti Kamenných Žehrovic (tzv. žehrovický pískovec – žehrovák). Další lomy nalezneme např. v okolí Mšeného-Lázně, nebo u Božanova na pomezí Broumovských vrchů. Významné pískovcové lomy se nachází na Hořickém hřbetu, zde se těží křemenné jemnozrnné pískovce šedé, okrové až rezavohnědé barvy (tzv. hořické pískovce). Těžba probíhá např. v lomu v Podhorním Újezdě, lomu Boháňka, Skála a dalších. [11]

Do sedimentárních hornin řadíme také další ušlechtilé kameny, které byly využívány již od raného historického období. Jedná se o jílovo-karbonátové slínovce zvané **opuky**. Jsou to převážně psamitické jemnozrnné horniny bělošedé až okrové barvy. Výrazným prvkem opuk je vysoké zastoupení organogenních příměsí, jako jsou např. křemičité schránky jehlic mořských hub a dírkovci. Nejdéle využívané jsou lomy v blízkém okolí Prahy, především na Petříně nebo v Přední Kopanině, zde dochází k těžbě tzv. kopaninské, zlaté, červené opuky. [11]

Další horninou sedimentárního původu je **vápenec**. Vápence vznikají nahromaděním úlomků klastických karbonátových hornin a schránek živých organismů v mokrém prostředí. Dle mineralogického složení se objevuje pestrá škála barev. Vápence obsahující hematit se zbarvují do červených odstínů, limonit je barví do hněda a bitumen do černa. Lomy s dlouholetou tradicí se nachází v Praze, v tzv. Barrandienu (oblast mezi Prahou a Plzní). Kameny vytěžené v této oblasti se vyznačují různými barevnými odstíny, výrazným žilkováním a případně také skvrnitostí. Známé lomy nalezneme také u Slivence, nebo v okolí obce Suchomasty. Na památkách vystavených v jihovýchodních Čechách a na jižní Moravě však nenalezneme vápence z místních lomů. Na těchto

stavbách objevujeme především tzv. mušlový vápenec, který byl na naše území dovážen také z alpského masivu na území dnešního Rakouska. [11]

Poslední, velmi zdobnou, sedimentární horninou je tzv. **travertin**. Ten vzniká srážením sladkovodních pramenů, které obsahují oxid uhličitý a rozpuštěný hydrogenuhličitán vápenatý. Jedná se o vysoce jemnozrnné pórovité kameny bělošedé až okrové barvy. Jejich lomy nalezneme především na Moravě v oblasti Hané, kde se těží tzv. hanácký a tučinský travertin. [11]

Je třeba zmínit také poslední skupinu hornin, kterou jsou **metamorphy**. Do těchto hornin řadíme například metamorfogenní mramory a hadce. **Mramory** jsou v podstatě krystalické vápence. Díky metamorfóze původních sedimentárních hornin, jako jsou vápence nebo dolomity, došlo ke změně barevnosti, originální textury i struktury, fyzikálně-mechanických vlastností, atd. Podle poměru kalcitu (uhličitanu vápenatého) a dolomitu (uhličitanu hořečnatého) dělíme vápence na kalcitické, kalciticko-dolomitické, dolomiticko-kalcitické a dolomitické. Díky své barevnosti a struktuře dosáhl největšího architektonického využití mramor těžený na Šumavě v okolí Vyškovic (tzv. vyškovský mramor). Tento kámen je hrubozrnný bílý s šedými skvrnami, nebo jemnozrnný modrošedě až zelenošedě šmouhovaný. Další známý lom se nachází u Nedvědic v okolí Pernštejna, tam se těží jemnozrnný až hrubozrnný bílý mramor s šedým až modrošedým šmouhováním. Rozsáhlá těžba probíhá také pod Králickým Sněžníkem na pomezí Čech a Moravy, tam se objevuje tzv. sněžníkovský mramor. Mezi známé můžeme zařadit také slezské mramory, které jsou šedé až černé s bílým louhováním (např. lipovský mramor). [11]

**Hadce** neboli serpentinity vznikají metamorfózou ultrabazických vyvřelin. Jedná se o tzv. serpentizaci, díky které vzniká serpentinit zeleného zbarvení s charakteristickou žilovanou a skvrnitou texturou, která připomíná hadí kůži. Hadce byly těženy v lomech u Mariánských lázní (tzv. mnichovský hadec). [11]

Zvláštní skupinou metamorfovaných hornin jsou **břidlice**. Jedná se o horniny s tzv. foliací, čímž rozumíme paralelní uspořádání stavebních součástí kamene a prakticky rovnoběžné uspořádání minerálů. Břidlice jsou jemnozrnné šedé až zelené, popřípadě černé sedimenty jílu (pelitů) a jejich metamorfované náhrady (fylitů). Tyto horniny se vyznačují dokonalou odlučností podle ploch vrstevnatosti. Nejvýznamnější těžební oblastí těchto hornin jsou Jeseníky a Oderské vrchy. Břidličné lomy však nalezneme také v oblasti mezi Manětínem a Rabštejnem nebo na Železnobrodsku. [11]

### 1. 2. 3. Vlastnosti hornin

Horniny magmatického (tab. 2) původu obecně vynikají dobrými fyzikálními vlastnostmi. Vyznačují se vysokými pevnostmi v tlaku i v tahu za ohybu. Vzhledem k nízké porózitě mají i nízkou nasákavost a dobrou mrazuvzdornost. Jsou také odolné vůči krystalizujícím solím. Tyto horniny se na stavbách uplatňují obvykle jako dlažební nebo obkladové materiály, případně jsou používány pro jednoduché architektonické prvky (římsy, ostění dveří a oken atd.). Velmi často se využívají ve hřbitovní architektuře na tvorbu krycích desek, náhrobků apod. Výjimečně nalezneme jejich využití také v sochařství. [11]

Tabulka 2: Vybrané vlastnosti magmatických hornin [11]

Označení horniny	Nasákavost [% hm. ]	Pevnost v tlaku [MPa]	Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	Součinitel mrazuvzdornosti v tlaku po 25 zmrazovacích cyklech [-]
světlá intruziva	0,7	90	6	0,75
tmavá intruziva	0,7	90	6	0,75
trachyty	3,0	80	7	0,75

Horniny sedimentární (tab. 3) jsou svými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi značně proměnlivé i přesto, že se jedná o kámen vytěžený z jednoho lomu. Tento typ hornin vzniká postupným usazováním, díky kterému dochází k tvorbě vrstevnaté struktury. Jednotlivé charakteristické vlastnosti se tedy liší v závislosti na tzv. stratigrafii. Fyzikálně-mechanické vlastnosti závisí na mnoha faktorech. Základem je poróznost kamene a jeho mineralogické složení, důležitá je ale také vytríděnost jednotlivých frakcí pískových zrn a typ pojivové hmoty. Střednězrnný až hrubozrnný pískovec, který je tvrdším kamenem, nachází své uplatnění ve zdivu. Používá se také pro jednodušší kamenickou architekturu (portály, ostění, podstavce, obklady, dlažba). Jako zdící materiál se využívali také jemnozrnné sedimenty, především jako lomový kámen. Nejčastěji jsou z vápenců, pískovců a opuk vytvářena náročná sochařská díla. Na obklady a dlažby v interiéru jsou pak obvykle využívány vápence. [11]

Tabulka 3: Vybrané vlastnosti sedimentárních hornin [11]

Označení horniny	Nasákavost [% hm. ]	Pevnost v tlaku [MPa]	Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	Součinitel mrazuvzdornosti v tlaku po 25 zmrazovacích cyklech [-]
pískovce	5,0 - 15,0	15 - 40	2.5	0,75
Opuky	15,0	15	2	0,75
vápence	0,8 - 4,0	30 - 40	4.5	0,75

Metamorfované horniny (tab. 4) se fyzikálně-mechanickými vlastnostmi přibližují horninám vyvřelým. Vzhledem k tomu, že mají nízkou poróznost, jsou málo nasákavé, a především dostatečně pevné. Dobře také odolávají účinkům mrazu a krystalizujících solí. Nejčastější využití nalézají v podobě exteriérových obkladových a dlažebních materiálů. Díky své mnohobarevné podobnosti vápencům se metamorfované mramory a serpentinity používají jako součást reprezentativních interiérů. Štípané břidlice pak naopak nachází uplatnění především jako střešní krytiny. [11]

Tabulka 4: Vybrané vlastnosti metamorfovaných hornin [11]

Označení horniny	Nasákavost [% hm. ]	Pevnost v tlaku [MPa]	Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	Součinitel mrazuvzdornosti v tlaku po 25 zmrazovacích cyklech [-]
mramory	0,8	40	4	0,75
Hadce	1,0	60	6	0,75
Fylity	1,5	-	30	0,60

#### 1. 2. 4. Opracování kamene

Kamenné prvky jsou získávány od pradávna metodou dobývání z povrchových lomů (obr. 5), pouze ve vzácných případech se můžeme setkat s těžbou hlubinnou. [10]



Obrázek 5: Lom hořického pískovce v Podhorním Újezdu [10]

V případě kamenů pro ušlechtilou kamenickou výrobu je nutné šetrné oddělování kamenných bloků. Jen výjimečně je tedy možné využití trhacích prací. Nejčastější metodou je odnětí pomocí klínů. Přestože se tato metoda používala převážně v minulosti, můžeme se s ní setkat i dnes. V moderním pojetí je rozdíl pouze v mechanickém navrtání otvorů pro klíny. Z moderních metod se využívá pro oddělování převážně přesné odřezávání horniny mobilními oběžnými řetězy s diamantovými břitzy. Horniny je možné odřezat rovněž pomocí vodního paprsku nebo hořáku. Zásadní vlastností, která se při řezání využívá, je přirozená dělitelnost hornin. Každá hornina je pak charakteristická odlišnými druhy dělení (deskovitá, kvádrovitá, hranolovitá atd.). [10]

Před samotnou úpravou je však nutné definovat budoucí využití kamene. Natěženou surovinu rozdělujeme podle její hodnoty na sochařský kámen, dlažební kámen, stavební konstrukční kámen, štěrkový kámen atd. [10]

Při historickém opracování měkkých hornin, především sedimentárních (vápenec, pískovec a opuka), zůstanou na povrchu kamene výrazné známky způsobů jednotlivých úprav. U tvrdších typů hornin (žuly a granodiority) tyto stopy nejdou patrné, a to z důvodu vyšší tvrdosti horniny, ale i volby jiných metod opracování. [10]

Pro vysvětlení základního principu opracování kamene využijí jako příklad výrobu kvádrů ze sedimentární horniny. V případě nutnosti nejdříve kameník dvojšpicem nebo jiným špičatým topůrkovým nástrojem odstraní největší nepravidelnosti hrubě vylomeného bloku kamene. Blok kamene následně osekával až do podoby pravidelného pravoúhlého kvádrů. Prvním krokem při formátování kvádrů bylo vytvoření rovné hladké stezky u jedné delší strany kamenného bloku, ta byla vysekána pravidelnými údery dřevěné paličky na úzké dláto. Poté následovalo vysekání obvodové stezky i na kratší hraně kamenného bloku. Po vytvoření dvou na sobě kolmých hran byly provedeny ještě zbylé dvě, čímž vznikla jedna rovina kvádrů. Pokud byl vytvářený kvádr menších rozměrů a kameník již měl značné zkušenosti, stačila mu k definici další rovné plochy jen jedna stezka. Vystupující kamenná hmota byla nahruho osekána palicí a špičákem nebo dvojšpicem.

Totožným způsobem byly opracovány i ostatní plochy kvádrů. Pravoúhlost kvádrů byla kameníkem pravidelně kontrolována pomocí úhelníku. Pro dokončení primárního opracování vnitřních ploch kamenného kvádrů se obvykle používal dvojšpic. K definitivnímu přerovnání veškerých ploch kvádrů do celistvého povrchu využíval kameník hladkou nebo zubatou plošinu, případně hladké široké nebo užší zubaté dláto. Těmito nástroji byly rovněž vytvářeny náročnější architektonické prvky. Ty však bývaly někdy ještě broušeny a hlazeny. [10]

Při jemných úpravách kamene pro dekorační prvky se odvíjí zvolená metoda dle složení kamenné hmoty a její skladby. V případě kamene, který se skládá ze stejnorodých a stejně tvrdých částic se používá metoda leštění. Tohoto principu se využívá především u materiálů, které mají schopnost po určitou dobu odolávat opotřebení a udržují si svůj lesk. Jedná se především o mramory, žuly, syenity, hadce atd. Pokud je třeba upravit kameny, skládající se z různorodých částic, volí se metoda úpravy broušením. Tyto materiály nelze leštit. Zde se řadí např. pískovce, droby, opuky apod. Možnost zpracování hladkých ploch a přesných hran je závislá na velikosti zrn a jakosti tmele mezi zrny. [14]

### 1. 3. Malty a omítky

V dobách, kdy začal rozvoj stavebnictví, přišli lidé na to, že stavby postavené pouze z balvanů neodolávají moc dobře povětrnostním vlivům a nejsou příliš stabilní. Bylo tedy nutné zajistit zpevnění takovýchto objektů, toho docílili objevením malt na minerální bázi. Zjistili, že použití tohoto materiálu je velmi jednoduché a účinné, především proto, že v první fázi se jedná o lehce zpracovatelnou hmotu, která se následně stává pevnou a odolnou. Kameny ukládané do lože z takovéto malty tedy vytvářely o poznání pevnější zdivo. Později však přišli na to, že je třeba zlepšit nejen stabilitu konstrukce, ale bylo nutné ji chránit také před vlhkostí a povětrnostními vlivy. Z tohoto důvodu začali používat tuto tvárnou hmotu i pro omítání zdiva. Nejprve využívali omítky pouze jako obětovanou část zdiva. To znamená, že dopředu věděli, že časem dojde k jejich rozpadu a bude nutná jejich výměna, zdivo pod omítkami však zůstane nadále nepoškozené. Postupem času byly omítky upravovány a obarvovány, aby přidávaly stavbě na výtvarné hodnotě. [11]

#### 1. 3. 1. Složení a vlastnosti

Název stavební pojiva nebo maltoviny je používán již po celá tisíciletí, tomuto materiálu byl dán díky jeho schopnosti spojovat zdící materiály (kámen nebo cihly) do soudržného zdiva. Malty a omítky řadíme mezi skupinu kompozitních materiálů. Jsou vytvářeny z nerostných surovin. V první fázi přípravy se jedná o sypký a zrnitý materiál, který však přidáním vody získává pastovitou konzistenci, posléze dochází k vytvrzování a stává se z něj pevná a tvrdá hmota. [11]

Malty se skládají z minerálních plniv, pojiv anorganického nebo organického původu a příměsí. Termín malty se používá pro samotné směsi, tedy pro tvárné hmoty ještě před jejich nanášením a následným vytvrzením. U historických staveb využíváme tento pojem pro hmoty, které spojují jednotlivé kamenné nebo cihelné bloky. [11]

Běžně používaným synonymem pro malty jsou omítky. Ve skutečnosti jsou však omítky charakterizovány spíše jako povrchové úpravy, které ochraňují a výtvarně doplňují zdivo budov, a jsou vytvářeny z malt. Přestože se tedy materiálově jedná stále o maltu, hovoříme o omítkách až ve vytvrzeném stavu hmoty. [11]



Když budeme chtít rozlišit jednotlivé typy malt, musíme se zaměřit na různá hlediska – uměleckohistorické charakteristiky, fyzikální nebo chemicko-technologické vlastnosti. Z hlediska materiálových vlastností dělíme malty na základě druhu pojiva, zrnitosti plniva, zbarvení, technologie nanášení apod. Hlavní složkou malt je pojivo, které ovlivňuje především fyzikálně-mechanické vlastnosti hmoty. Nejlépe tedy klasifikujeme malty právě na základě chování pojivových složek při vytvrzování. Dle použitého pojiva rozlišujeme malty následovně:

- **malty s jílovým pojivem** - pojiva tvrdnoucí po odpaření vody;
- **malty se sádrovým pojivem** - pojiva tvrdnoucí absorpcí vody (hydratací);
- **malty s vápenným nebo hydraulickým pojivem** – pojiva tvrdnoucí chemickými reakcemi. [11]

Můžeme se setkat také s tříděním malt na základě hydraulicity použitého pojiva:

- **malty vázané nehydraulickými pojivy** (tuhnutí za přístupu vzduchu – vzdušné vápno, odpařením vody – jíl, neprodleně po smísení s vodou – sádra);
- **malty vázané hydraulickými pojivy** (tuhnutí za přítomnosti vody – hydraulické vápno, vápno s příměsí pucolánů, cement). [11]

### 1. 3. 2. Historické malty

V historii stavebnictví byly malty užívány pro mnohé stavební záměry. Využívaly se nejen pro vytvoření samotné konstrukce zdiva, ale po jejím dokončení také pro její ochranu a výzdobu. Historické malty tedy dělíme na základě mnoha znaků, např. podle způsobu aplikace (zdící, spárovací atd.), umístění na objektu (interiérové, exteriérové), významu (estetické, sanační, aj.), množství vrstev, barevnosti apod. Nejčastěji používáme jejich dělení na základě stavebního využití:

- **malty zdící** – spojují jiné materiály (nejčastěji kamenné, či cihelné bloky);
- **malty podlahové** – srovnávají povrchy pochozích ploch, nebo slouží jako podklad pro pokládku podlahových dílců (např. dlaždic);
- **malty spárovací** – slouží k utěsnění otvorů, které vznikly během zdění, nebo pro upevnění obkladů a podlahovin;
- **malty pro omítání** – pro tvorbu vnitřních a vnějších omítek, nebo složitějších povrchových struktur (např. sgrafit). [11]

**Zdící malty** jsou silikátové materiály, které se začínají ve stavebnictví objevovat nepatrně později než dřevo a kámen. Jejich nejdůležitější funkcí bylo zpevňování zdiva, proto se při výrobě zabývali především pevností v tlaku, nikoliv estetickými či jinými vlastnostmi. Pro výrobu byly používány hlavně místní suroviny. Plnivem byl nejčastěji křemenný písek, často hrubozrnný a s poměrně vysokým obsahem nečistot (např. jílovitých minerálů apod.). Pojivo bylo vybíráno na základě jeho schopnosti spojovat ostatní materiály (kámen, cihly) a odolávat povětrnostním podmínkám. Často byly tedy do malt přidávány pojiva s hydraulickými vlastnostmi, ty totiž byly schopny tuhnout a tvrdnout i za zvýšené vlhkosti prostředí. Složení hydraulických doplňků vyplývalo z historických zkušeností předchozích generací stavitelů. Zaleželo tedy především na způsobu vyzdívání a materiálech k tomu používaných. Zatímco ve středověké Itálii a Německu využívali do



malt klasické přírodní pucolány, např. sopečný popel, na našem území se ke stejnému záměru používal obvykle popel vznikající při spalování dřeva. [11]

**Podlahové malty** se začaly využívat především pro zpohodlnění cesty k objektům. Zezačátku byla pro tvorbu přístupových cest využívána valounová dlažba nebo různě nadrcený lomový kámen. Nejprve byla navezena hrubozrnná frakce (štěrk), která byla uložena přímo na zemní pláň a následně byla doplňována kameny a pískem. S postupně se rozvíjejícím obchodem však nastala potřeba vytvořit pevnější konstrukce komunikací. Proto se začaly hojně využívat maltoviny, především hrubozrnné s přísadami hydraulických pojiv nebo také malty jílové. Pro zvyšování pevnosti, a tím i trvanlivosti, se mohly vyztužovat pomocí armatur na bázi vláknitých materiálů (rostlinná nebo živočišná vlákna). V případě použití malt pro úpravu podloží před pokládkou pevných nebo ozdobných podlahovin (dlaždice, cihelné bloky, aj.), se využívali obdobné typy malty, akorát bez vyztužení. [11]

Ani složení **spárovacích malt** se nijak zvlášť nelišilo od předchozích dvou typů. Odlišné požadavky byly ale kladeny na spárovací malty v exteriéru, které sloužily pro vyplnění mezer mezi obkladovými a podlahovými hmotami (obr. 6). Kromě požadavku na pevnost v tlaku a hydraulicitu pojiva zde byl kladen důraz také na pohledové vlastnosti. Musely být uplatňovány tak, aby nenarušily působení obkladových prvků (keramických dlaždic, kamene atd.). Obvykle se tedy jednalo o malty jemnozrnnější, které byly případně pigmentovány (např. cihelnou moučkou, dřevním popelem), aby došlo ke sjednocení barev malty a obkladu. [11]



Obrázek 6: Spárování kamenného zdiva vápennou maltou [11]

Jak jsem již dříve zmínila, **malty pro omítání** vznikly původně pouze pro vytvoření ochranné vrstvy zdiva. Zpočátku se jednalo o jednovrstvé omítky nanášené roztíráním nebo přitlačováním k povrchu zdiva. Týkalo se to především omítek románských a gotických, jejich povrch byl na pohled nerovný a členitý. Časem došlo ke zdokonalování pomůcek i technologií nanášení, aby byl vytvořený povrch co nejhladší. V období renesance se začaly objevovat omítky hlazené a vícevrstvé. Začíná se také rozvíjet snaha o vytváření ozdobných fasád. Na průčelích se tak pomocí omítek tvoří modelačně i barevně ztvárněné motivy. Architekti rozvíjí své umění a snahu o vytvoření

nejkrásnějších objektů a také měšťané demonstrují na fasádách své bohatství. Právě proto vznikají v období renesance a baroka honosné paláce a domy s bohatě zdobenými fasádami. [11]

## 2. Kombinace cihel a kamene na stavbách

### 2. 1. Zdivo z cihel plných pálených

Jedná se o nerozšířenější způsob vyzdívání. Cihlu využíváme jako stavební materiál již od nejstarších dob z důvodu jejích vynikajících vlastností. Vzhledem ke zpříšňování tepelně-technických norem se v dnešní době pro vyzdívání již téměř nepoužívá cihla plná pálená. Nejčastěji se dnes využívá cihelných bloků, které jsou obvykle dodávány firmami Porotherm či Heluz. [18]

Cihelné zdivo vzniká díky spojení cihel a malty. Pro vyzdívání z cihel plných pálených se využívají cihly plné, tříčtvrtky, půlky, čtvrtky a pásy. Při vyzdívání musí docházet k pravidelnému provázání cihelných prvků v jednotlivých vrstvách. Provázání provedeme pomocí posunu cihly ve vyšší vrstvě o  $\frac{1}{2}$  až  $\frac{3}{4}$  délky cihly v nižší vrstvě.

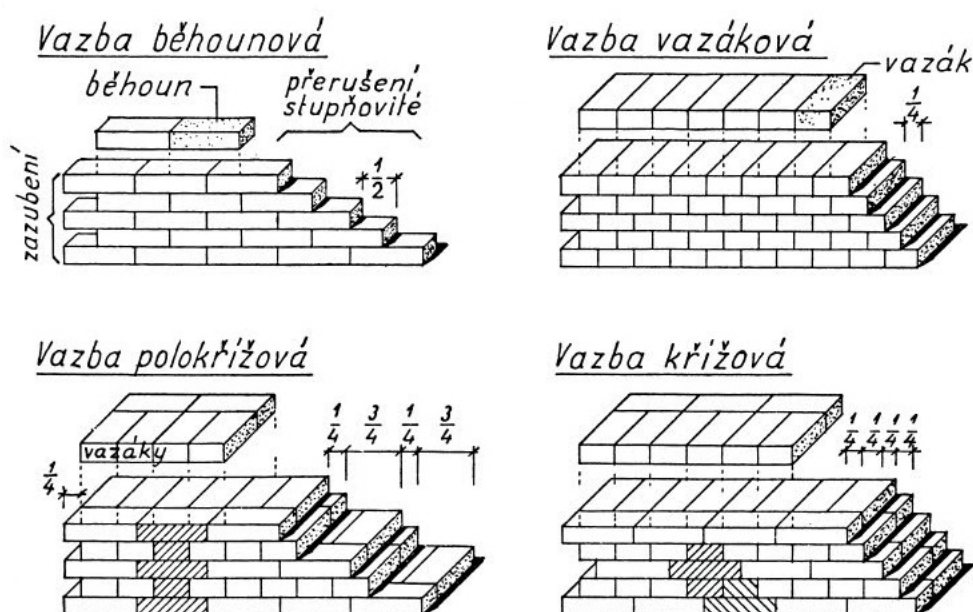
V cihelném zdivu rozeznáváme 2 typy spár:

- ložné spáry – jedná se o vodorovnou spáru mezi dvěma vrstvami cihel;
- styčné spáry – jsou to svislé spáry nacházející se mezi dvěma cihlami v jedné vrstvě.

Cihly můžeme ve zdivu ukládat dvěma různými směry. Dle uložení poté rozeznáváme cihly:

- běhouny – jedná se o cihly, které jsou celou svou délkou v líci zdiva;
- vazáky – to jsou cihly, které leží svou délkou ve zdi, v líci se nachází kratší strana cihly.

Dle výsledného provázání lícové strany zdiva poté můžeme rozeznat hned několik typů vazeb (obr. 7). Abychom správně určili použitou vazbu, je nutné se zaměřit na uložení běhounů a vazáků.



Obrázek 7: Příklady některých vazeb cihelného zdiva [18]

U vazby běhounové jsou ve zdivu uloženy pouze běhouny. Nejčastěji se využívá pro vyzdění příček na půl cihly, to znamená příček tloušťky 15 cm. Převázání cihel je provedeno na polovinu délky cihelného prvku. Naopak u vazby vazákové jsou ukládány cihly pouze ve formě vazáků. Převázání prvků je zajištěno posunem o  $\frac{1}{4}$  délky. Používá se pro nosné zdivo tloušťky 30 cm. Do spár je používána nejčastěji vápenno-cementová nebo cementová malta. Vápennou maltu je možné použít pouze tam, kde zdivo není vystavováno povětrnostním vlivům. [18]

Pokud je potřeba vyzdívat nosné zdi s tloušťkou 45 cm a více, pak je nutné použití jiných než výše zmíněných vazeb. V takovémto případě se nejčastěji používá vazba polokřížová nebo křížová. Samozřejmě je možné také použití mnoha dalších vazeb, jako např. vazeb gotických. Cihelné vazby jsou také upravovány pro vytvoření dekorativního vzhledu výsledného zdiva. [18]

## 2. 2. Zdivo z kamene

Kámen řadíme k nejstarším stavebním materiálům. V dnešní době již není jeho použití tak rozsáhlé jako v minulosti, přesto je výjimečně používán do základů, či soklových partií zdiva. U historického kamenného zdiva se můžeme setkat hned s několika druhy aplikací, které uvedu v následujícím textu.

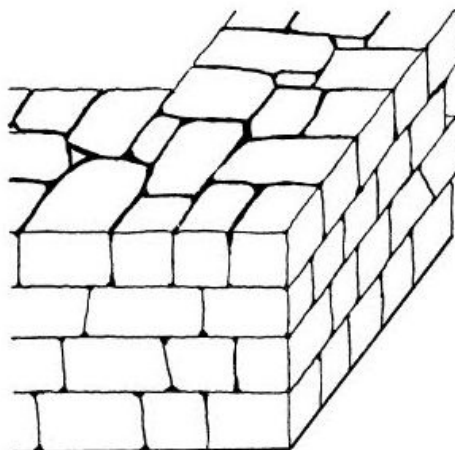
Pro kamenné zdivo je využíváno lomového kamene (obr. 8), který je získáván sbíráním, z tohoto důvodu se jedná o levný a dostupný materiál. Staví se z něj proto především méně důležité stavby, jako například hospodářské stavby, chalupy, ohradní a opěrné zdivo. Díky své nízké ceně je poté využívánější do smíšeného zdiva, pro snížení vysokých nákladů cihelného zdiva. [15, 17]



Obrázek 8: Gotické lomové zdivo. Hrad Karlshaus z poloviny 14. století [17]

Přestože jde o výstavbu ze sbíraného kamene, musí být při zdění dodržováno několik zásad. Pro vyzdívání se používají kameny, které jsou vkládány do zdiva jako vazáky. Tyto kameny musí zasahovat alespoň do  $\frac{3}{4}$  tloušťky zdiva. Je také nutné dbát na provádění plynulých ložných spár. Musí se provádět také důkladné klínování pomocí menších kusů kamene. Celý proces vyzdívání je pomalý, protože musíme neustále nacházet patřičné kusy kamene. Pokud nenalezneme vhodný kámen, pak musíme prvek opracovat pomocí kamenické paličky. Po vyzdění je líc zaspárován v minulosti maltou vápennou, dnes nejčastěji cementovou maltou. [16]

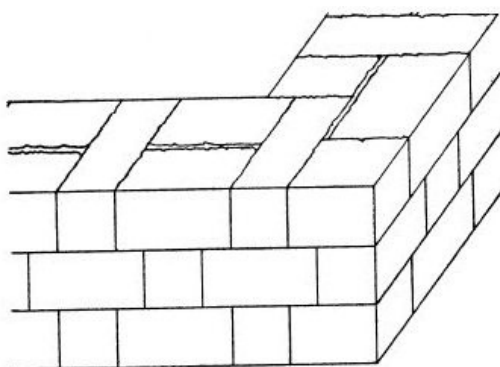
U zdiva z tesaného kamene jsou vytvářeny pravidelné řádky. Toho docílíme tak, že jeden rozměr použitých kamenů je vždy shodný. Je nutné, aby se dbalo na provázání jednotlivých řádků, doporučené je provedení také svislého řádkování. Naopak u zdiva kopákového (obr. 9) se používají již obtížněji opracované kameny. Kopáky se upravují tak, aby měly stejnou výšku a svislé hrany kolmé na ložnou spáru. Na výstavbu můžeme použít také tzv. čisté kopáky, ty mají kolmá i čela. Vyšší pracnost je spojená s vyšší cenou, zdivo však ve výsledku působí na pohled úhledným dojmem. [16]



Obrázek 9: Ukázka zdiva z čistých kopáků [18]

Pro vyzdívání haklíkového zdiva se používají kameny, které jsou upravovány ve 3 směrech. Kameny jsou upravovány do čtvercového nebo obdélníkového tvaru. Při ukládání některých kamenů vzniká styčná spára přes více řad. Tento typ zdiva řadíme mezi dekorativní. [16]

Nejdokonalejším zdivem z kamene je zdivo kvádrové (obr. 10), které je vytvářeno pomocí čistě opracovaných kvádrů. Někdy bývají kameny opracovány dle přesně stanovených výkresů. Tento způsob vyzdívání vyžaduje vysoce odbornou činnost. Kromě náročného opracovávání kamene je nutné také odborné vyzdívání. [16]

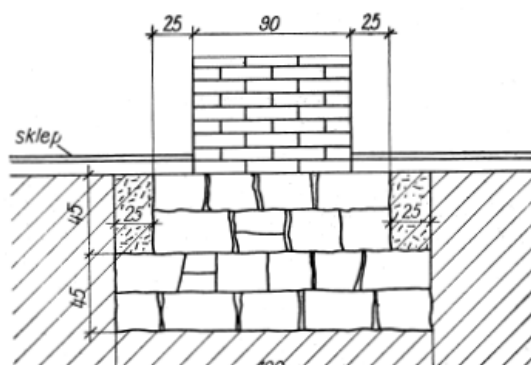


Obrázek 10: Ukázka kvádrového zdiva s hladkou lícni plochou [18]

## 2. 3. Zakládání a podzemní části staveb

Do základů se preferovalo kamenné zdivo i v případě, že pro horní stavbu se využívalo cihelných prvků. Přestože byly historické cihly vyráběny ve vysokých kvalitách a pod povrchem by dobře obstály, bylo jejich pořízení velmi nákladné a z tohoto důvodu se preferoval pro základy spíše kámen. Základové a podzemní zdivo je za běžných okolností neviditelné, proto na něj není kladen tak velký důraz s ohledem na estetičnost. Při použití základového zdiva z kamene a při následném vyzdívání z cihel je zásadní důraz kladen na šetrnost. Pro založení cihelného zdiva je potřeba vytvoření dokonale rovné plochy při horním líci základů. [17]

Základové zdivo (obr. 11) se běžně vytvářelo tak, že byl vytvořen výkop a do něj byly kameny volně vloženy. Z tohoto důvodu při odhalení základů historických budov není líc zcela rovný, ale objevují se na něm různé výstupky. Často může skladba základového zdiva připomínat antickou skladbu, tzv. „opus spicatum“, jedná se o klasové kladení především plochých stavebních prvků. [17]



Obrázek 11: Základový pás dvoustupňový z kamene [16]

Jako materiál se používal kámen hrubší, který se dal hůře opracovávat a byl méně pravidelný. Kromě nepravidelných kamenů se běžně využívaly i plošší tvary. [17]

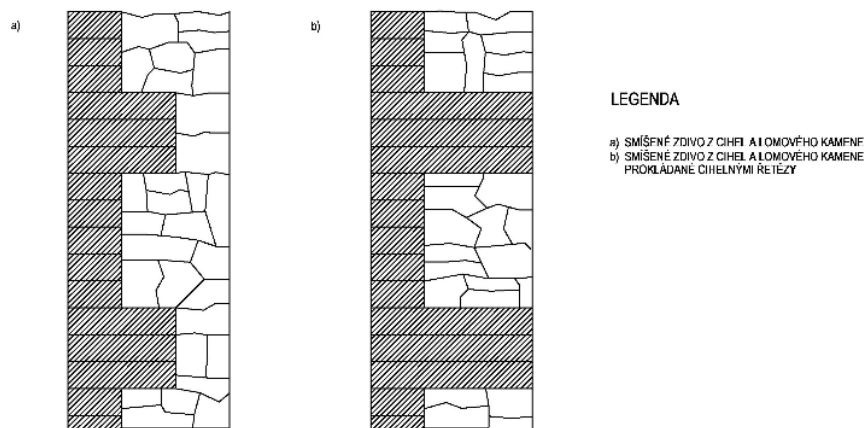
V případě, že se budeme zabývat podsklepenou historickou stavbou, tak se můžeme setkat s vytvořením celých podzemních částí z kamene. Kamenné zdivo se hojně využívalo pro těžké valené klenby ve sklepech a přízemcích.

## 2. 4. Smíšené zdivo

Smíšené zdivo představuje kombinaci vyzdívání z cihel a kamene (obr. 12). Vytváří se různý materiálový povrch vnitřního a vnějšího líce zdiva. Kámen se uplatňuje především na exteriérové a cihly na interiérové straně. U tohoto typu zdiva dochází ke kombinaci vlastností obou materiálů. Cihla v této stěně zlepšuje především tepelně technické vlastnosti a opracovatelnost. Z cihel jsou vytvářeny případně také řetězy pro prokládání lomového kamene. [17]

Nejdříve se smíšené zdivo objevuje především na stavbách gotických, kdy se mezi kamenným zdivem začínají objevovat ojedinělé kusy cihel. Jelikož byly cihly v porovnání s kamenem vzácnějším materiálem, vytvářeli se z nich především klenebné kápě apod. Cihel bylo zkrátka potřeba tam, kde bylo nutné vylehčit celou konstrukci. Kámen je totiž obecně těžší stavební materiál, není z něj tedy možné vytvářet vyšší a „odvážnější“ klenby. [17]



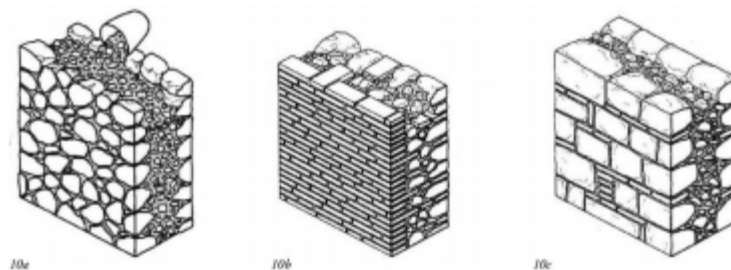


Obrázek 12: Příklady smíšeného zdiva [23]

Pokud se pro kamenné zdivo využívá lomový kámen, pak se cihly objevují u částí, kde je nutné čisté provedení zdiva. V dalších případech se cihly uplatňují pro výplňové části a z opracovaných kamenných kvádrů se vytvářejí např. překlady, ostění atd. [17]

## 2. 5. Emplekton

Tohoto způsobu vyzdívání začali řemeslníci využívat při vytváření masivních zdí v dobách středověku. Jedná se o obdobu starého antického způsobu zdění. Pro efektivnější způsob výstavby se využívalo tohoto tzv. emplektonu, neboli v podstatě litého zdiva. Nejprve jsou vytvořeny dvě stěny z cihel nebo kamenů, do nichž je následně přidána malta s kamenivem nebo kousky cihel. Pro zvýšení pevností těchto zdí se využívají kamenné trámce, které jsou umístěny přes celou šířku zdiva. Jednotlivé typy emplektonů jsou vidět na obrázku č. 13 [15, 26].



Obrázek 13: Různé typy emplektonů [26]

## 2. 6. Armatury

V případě provádění náročnějších staveb se využívá tzv. armatur pro vyztužování hran objektu (obr. 14).



Obrázek 14: Nároží zděného patrového klasicistního domu na návsi v Zubrnicih u Ústí nad Labem. [17]

Jako materiál se používal tesaný kámen, cihelné prefabrikáty nebo také kusy lomového kamene s důkladným zavazováním do obou směrů v rohu objektu. U staveb z lomového kamene se cihly používaly pro armování méně významných hran. [17]

## 2. 7. Nadpraží (překlady)

Pro stavby z kamene se využívalo cihel pro vytvoření nadpraží nad otvory (obr. 15), nicméně můžeme se setkat i s překlady kamennými. Cihel využívali předkové nejspíš z důvodu vylehčení konstrukce nad okny a dveřmi. Cihly dosahují menších hmotností než používaný kámen. Nejen, že byl tento způsob efektivní z hlediska statického, ale taková nadpraží působí na stavbě i velmi estetickým dojmem. Je to prvek, který kolemjdoucího člověka zaujme na první pohled. Většinou se s cihelnými překlady v kamenném zdivu setkáváme u historických staveb a podsklepených částí domu. Využívalo se cihel nejen pro nadpraží rovná, ale zejména pro klenuté tvary, které jsou pro silikátové materiály staticky výhodnější.



Obrázek 15: Příklad cihelného nadpraží v kamenném zdivu – Základní škola Hlučín, Gen. Svobody 8, Hlučín; pořízeno autorem

## 2. 8. Záklenky

Jedná se o konstrukci, kdy je do mohutné zdi vytvořen otvor, nikoliv však přes její celou tloušťku. S takovými stavebními prvky se setkáme většinou ve stavbách gotických. Pozůstatky těchto konstrukčních technologií nalezneme např. na hradech, tvrzích, kláštorech a historických opevněních (obr. 16).



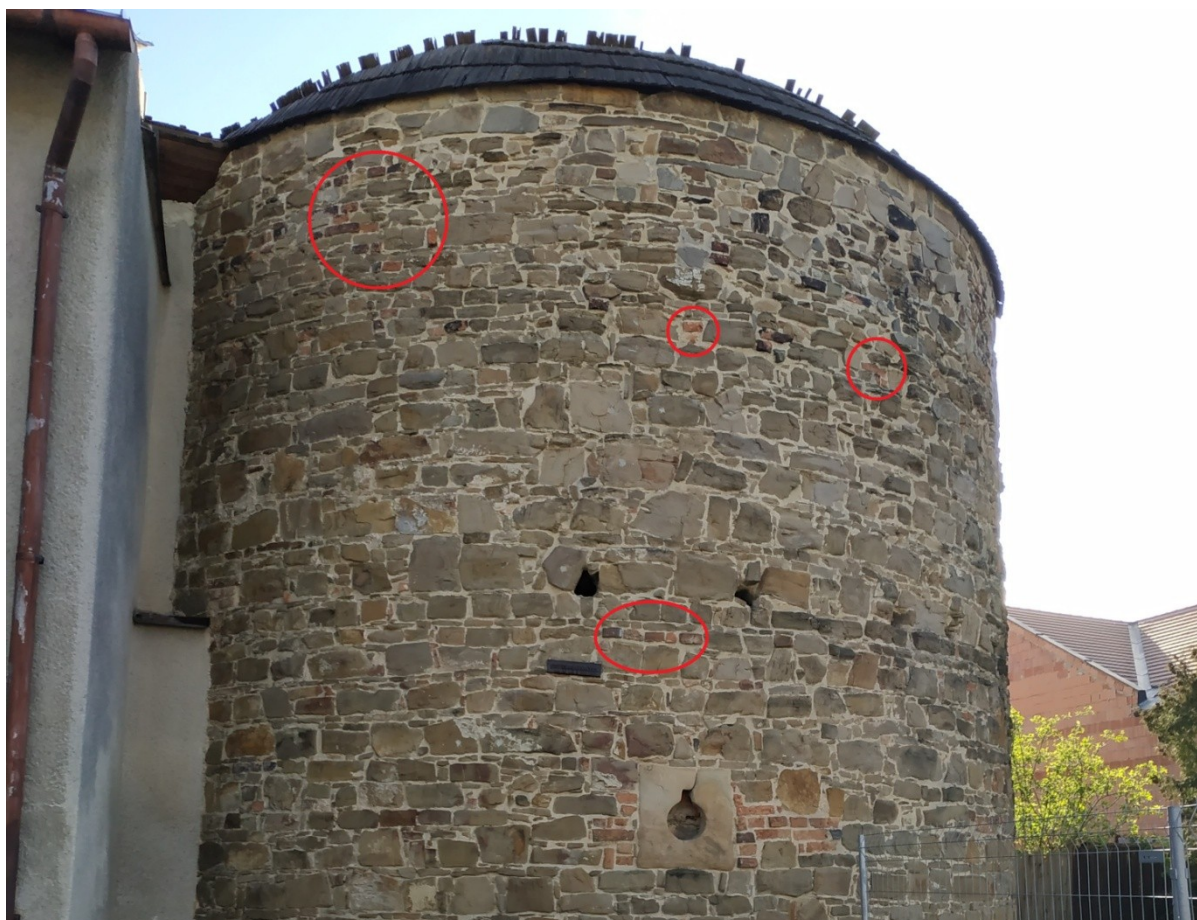
Obrázek 16: Příklad záklenku na baště původních městských hradeb – park, ulice Na Valech, Hlučín; pořízeno autorem



Gotická opevnění dosahovala velkých tlouštěk, proto se v tomto mohutném zdivu vytvářely tzv. záklenky. V těchto stavebních prvcích pak byly obvykle umístěny střílny pro možnou obranu města. Nad otvorem ve zdivu je vytvořen valený segment z kamenných nebo cihelných prvků, přičemž zbytek může být plně vytvořen z kamene. Cihel je využíváno, stejně, jako u překladů, z důvodu jejich menší hmotnosti a výhodnější konstrukci klenutí.

## 2. 9. Cihla jako výplňový materiál

Při průzkumu stavby, která na první pohled vypadá jako celek z kamene, můžeme zjistit, že opak je pravdou. Pokud se na takovéto stavby podíváme zblízka, lze v prostorách mezi kameny nalézt v menším množství cihly (obr. 17). Může se jednat o jeden ojedinělý kousek cihly, nebo celý prostor menšího rozměru vyplněný tímto materiálem. Cihly se v těchto prostorách mohly objevit dvěma způsoby. Prvním důvodem pro jejich použití byla pravděpodobně nemožnost umístění vhodného kamene. V takovém případě je pro stavebníka lehčí sáhnout po kusu cihly než vyhledávat, či osekávat nějaký vhodný kus kamene. Druhým využitím pro cihly mohly být původní „sanace“ kamenných staveb. Pokud nastala situace, že např. ze stavby vypadl kus kamene, nebyl tento prvek nahrazen kamenem podobným, ale prostor byl zaplněn právě cihelným materiálem. Mohlo to však mít o dost prostší význam a to takový, že při těchto mohutných stavbách chtěl stavebník využít veškerý dostupný materiál. Může se tedy jednat pouze o zbytky cihel z jiných staveb, které bylo třeba nějakým způsobem „zuzitkovat“.



Obrázek 17: Ukázka vyplnění prostoru mezi kameny cihlou plnou pálenou – bašta bývalého městského opevnění, ulice Gen. Svobody, Hlučín; pořízeno autorem

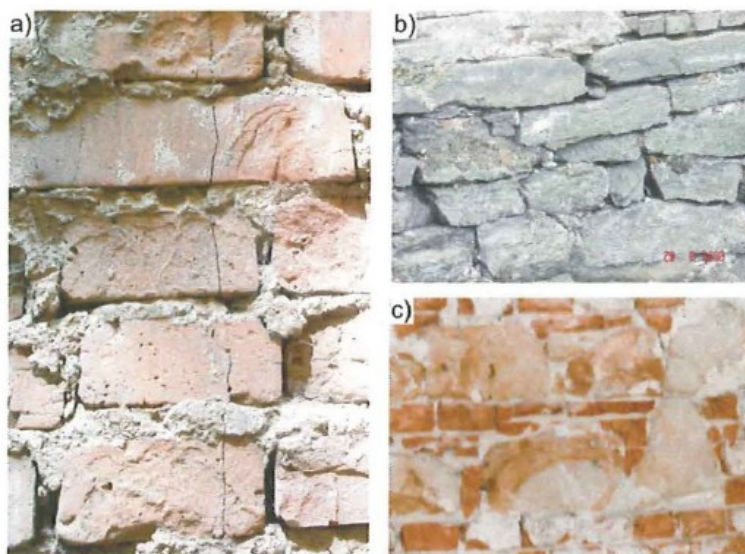
### 3. Vady a poruchy zděných konstrukcí

Před prováděním samotného průzkumu staveb je důležitá znalost možných vad a poruch, ke kterým u stavebních konstrukcí dochází. Vadou rozumíme skrytý nebo zjevný nedostatek konstrukce, jenž je způsoben chybným návrhem nebo chybou při realizaci. Porucha je důsledkem fyzikálních, chemických nebo jiných procesů.

#### 3. 1. Mechanické a deformační poškození

Jedním z prvních ukazatelů poruch na stavebním objektu, kterého si povšimneme, je objevení viditelných trhlin na stavebních konstrukcích. Trhlina vzniká nejčastěji při překročení meze pevnosti u použitých materiálů. Vzhledem k orientaci trhliny, jejímu vzhledu a případně velikosti jsme schopni předběžně stanovit možnou příčinu jejího vzniku. Účinky zatížení, nebo případné pohyby stavby, mohou způsobit v konstrukci kromě trhlin také lokální drčení stavebního materiálu. Poloha a směr trhlin ve zdivu je ovlivněna mnoha faktory, jako jsou např. pevnosti jednotlivých složek zděné konstrukce, provázání zdících prvků, rozdílné hodnoty vlhkosti a mnoho dalších.

K těmto vadám a poruchám zdiva často dochází díky chybám v projektové dokumentaci nebo také nedodržení všech zásad vyzdívání (obr. 18). Nejčastější příčinou je nerespektování stanoveného provázání zdících prvků. Vznik vad, které se následně projevují dalšími poruchami zdiva, jeho nedostatečnou únosností, či špatnou odolností vůči degradačním procesům, ovlivňuje také nevyhovující kvalita malty nebo použitých zdících prvků. [19]



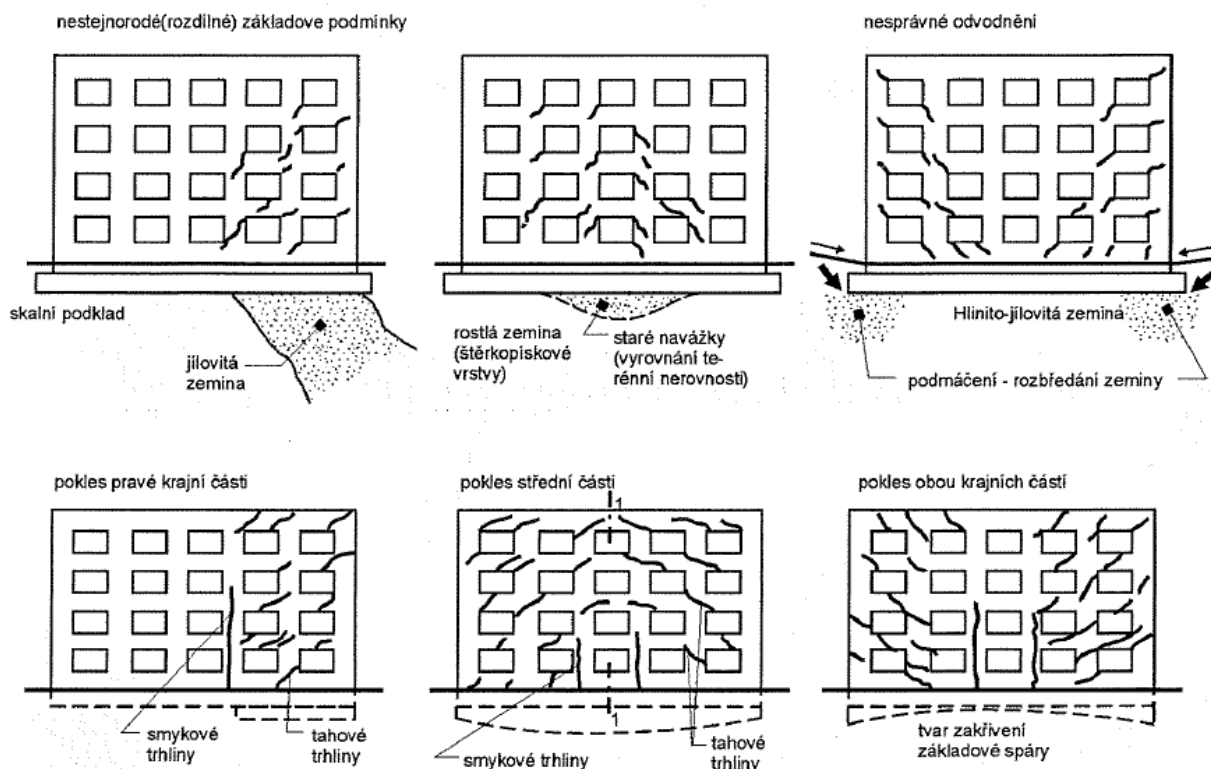
Obrázek 18: a) Příklad nekvalitně provedeného zdiva; b) Zdivo z lomového kamene; c) Smíšené zdivo [19]

Trhliny ve zděných konstrukcích klasifikujeme na základě níže uvedených hledisek:

- podle příčiny vzniku (působení silových nebo přetvárných účinků zatížení);
- podle polohy trhlin vzhledem k ložným a styčným spárám zdiva;
- podle průběhu (šikmé, zalomené, svislé, přímé);
- podle šířky trhliny a její aktivity;
- podle druhu zdiva (použité zdící prvky a vazby) a konstrukce. [19]

Trhliny v cihelném zdivu mohou být způsobeny nedostatečným dimenzováním základových konstrukcí objektu či jejich nesprávným provedením. Když vytvoříme kolmici na tuto trhlinu, můžeme zjistit, v kterém místě dochází k poklesu základů. Dle průběhu trhliny můžeme rovněž určit, zda bylo snížení základů pomalé, či rychlé. V případě pomalého poklesu probíhá trhlina ložnými a styčnými spárami zdiva, čímž vytváří schodovitý tvar, u rychlého klesání, a tedy poměrně významnému zatížení, neprojde jenom spárami, ale také samotným zdícím prvkem.

Pokles základových konstrukcí je velmi častou příčinou vzniku trhlin ve zdivu. Lokální pokles může být způsoben podmáčením základové spáry, např. nesprávným spádováním terénu, netěsností inženýrských sítí apod. Další příčinou pohybů základových spár je možné promrzání zeminy na úrovni základů. Díky působení mrazu dochází v zeminách ke vzniku krystalků, které mohou způsobit rozpínání zeminy a následné nadzvedávání základové konstrukce (obr. 19). Proto je nutné dbát na zakládání objektů v úrovni nezámrazné hloubky. Ke změnám tvaru základových spár dochází taktéž při nedostatečném provedení geologického průzkumu základových poměrů. [19]



Obrázek 19: Trhliny ve zdivu způsobené deformacemi základových spár [19]

Změna tvaru základové spáry může být způsobena kromě geologických poměrů také vlivem okolní stavební činnosti, např. dostavbou objektu, či provozem vozidel, který působí na objekt svými dynamickými účinky. Díky různým dostavbám v okolí objektu může dojít také ke změně hydrogeologických podmínek podloží, čímž jsou opět základové spáry objektu značně ovlivněny. [19]

Nosné cihelné zdivo může být porušeno také díky účinkům smršťování a dlouhodobého dotvarování použitých betonových konstrukcí, které jsou uloženy na zdivu. Může se jednat o stropy, překlady, trámy apod. [19]

K příčinám vzniku poruch patří rovněž objemové změny, které jsou způsobeny teplotou. Rozdílná tendence k objemovým změnám vlivem teplot, např. u dvou navzájem kolmých stěn, může způsobit vznik smykových trhlin ve zdivu. [19]

V případě podzemních zděných konstrukcí se můžeme setkat s jejich porušení pomocí zemních tlaků, které na objekt působí. Zemní tlak způsobí např. posunutí ve vodorovné spáře, nebo narušení zdi tahovým napětím. [19]

Dalším způsobem porušení zdiva jsou náhlé změny průřezu zděné konstrukce. Dochází tím k odklonu tlakových trajektorií od svislice a jednoosá napjatost postupně přechází v napjatost dvouosou. Tato změna je charakteristická vznikem příčných tahových napětí, která poškozují konstrukci. [19]

Ke vzniku trhlin ve zdivu dochází rovněž v místě koncentrace tlakových napětí od uložených stropních nosníků či průvlaků. Působením účinků napětí vznikají takové i smykové trhliny, popř. dochází k drcení zdiva. [19]

### 3. 2. Vlhkostní problematika

Jednou z nejčastějších příčin degradace stavebních konstrukcí je vlhkost. V případě zděných konstrukcí je nebezpečná především tím, že způsobuje změnu fyzikálních, mechanických i mineralogických vlastností materiálů. Vlhkost zásadně ovlivňuje degradační procesy, díky čemuž může zdivo postupně rozrušovat a vést až k rozpadu cihelných prvků a malt ve spárách zdiva. Tím dochází ke snížení únosnosti zděné konstrukce. Zejména je třeba zmínit působení vlhkosti společně s mrazem. Při působení mrazu dochází uvnitř konstrukce k rozpínání vody, které může porušit jednotlivé prvky zdiva. Voda také často obsahuje vodorozpustné soli, které mohou způsobit dlouhodobé degradační procesy vedoucí až k rozpadu konstrukce.

Pokud bude v konstrukci zvýšená vlhkost, je nutné nalézt její příčinu. Zdrojů vlhkosti u stavební konstrukce může být celá řada, mezi ty nejhlavnější však patří:

- **vzlínající vlhkost** (většinou z podloží objektu);
- **srážková voda** (voda odstříkující, protékající např. komínovými průduchy, poháněná větrem);
- **kondenzující voda** (obvykle na vnitřním povrchu konstrukce);
- **technologická vlhkost** (zabudovaná v konstrukci);
- **hygroskopicitu stavebních materiálů**;
- **případné další zdroje zvyšující vlhkost**.

Účinek vody, vyskytující se v konstrukci, může působit na sledovaný materiál a poměrně intenzivně ovlivňovat parametry na základě:

- **mechanického účinku:**
  - změny lineární, tvarové, objemové (nabývání, vysychání);
  - mechanické stavy napjatosti;
  - mechanické poruchy (rozvrstvování, trhliny, drcení, deformace);
- **fyzikálního účinku:**
  - změna mechanických vlastností;



- změna fyzikálních vlastností (objemová hmotnost, vodivost, dilatometrické vlastnosti apod.);
- krystalizace a tlak solí v pórech uvnitř struktury stavebních hmot;
- **chemického účinku:**
  - degradační a korozivní chemické, popř. elektrochemické reakce;
  - změny mineralogického složení, změna pórového systému;
- **biologického účinku:**
  - biologická koroze – vyšší rostliny (biofyzikální reakce – kořenový tlak);
  - bakterie (biochemická reakce metabolitů mikrobů);
  - nižší rostliny (řasy, lišejníky, houby, plísňe – biofyzikální a biochemické procesy). [19]

### 3. 3. Degradační faktory

Pod pojmem degradace je skryt proces, který zapříčiňuje změnu podstatných vlastností stavebních hmot, i celých konstrukcí. Mezi důležité parametry, které jsou ovlivňovány, řadíme:

- **vlastnosti tepelně technické** (součinitel tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita);
- **vlastnosti fyzikální, mineralogické** (objemová hmotnost, nasákavost, poróznost apod.);
- **vlastnosti vlhkostně technické** (faktor difúzního odporu, sorpční vlhkost atd.);
- **vlastnosti dilatometrické** (součinitele objemové nebo lineární teplotní a vlhkostní roztažnosti);
- **vlastnosti mechanické** (tuhost – moduly pružnosti, přetvárnosti aj., pevnost – v tlaku, v tahu, v tahu za ohybu, Poissonovo číslo apod.);
- **vlastnosti plynoucí z technologie výroby a vlastností výchozích hmot** (vývoj reakčních teplot, objemové změny od smrštění hmot atd.);
- **vlastnosti reologické a plastické** (mezní deformace, houževnatost aj.). [19]

Struktura stavebních hmot výrazně ovlivňuje mechanismy degradačních procesů, jejich rychlost průběhu v čase a intenzitu. Důležitými faktory jsou především pórovitost struktury, měrný povrch apod. Tyto parametry totiž mají vliv na transportní procesy ve stavebních hmotách, především vody, ať už v kapalně nebo plynné fázi, která je hlavním nositelem různých agresivních látek. [19]

Rozlišujeme celkem tři základní degradační procesy, konkrétně se jedná o fyzikální, chemickou a biologickou degradaci.

#### 3. 3. 1. Fyzikální degradace

Fyzikální degradace je založena na působení různých sil a tlaků uvnitř struktury stavebních materiálů. Základním procesem je krystalizace vody a solí v pórech, popřípadě vznik hydratačních tlaků, které způsobují postupné narušování struktury materiálů. Při zvětšování objemů některých typů solí vznikají hydratační tlaky, které dosahují hodnot v řádech MPa. Mnohdy tyto tlaky převyšují samotné pevnosti stavebních materiálů (tab. 5). [19]

Tabulka 5: Hydratační tlaky vznikající při rekrystalizaci některých solí [19]

Výchozí látka	Vznikající látka	Vyvozený přetlak [MPa]
<b>CaSO<sub>4</sub></b>	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	110
<b>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	25
<b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	30

Při změně teploty a následném odpařování vody dojde k dehydrataci krystalů, která zapříčiní jejich rozpad. Pokud dojde k opětovnému zvýšení vlhkosti, soli vodu absorbují a nastává opět proces rekrystalizace. Vzhledem k opakování procesů krystalizace a rekrystalizace, které působí společně s vymýváním pojivových složek, dochází k postupnému rozpadu struktury materiálu. [19]

Při stanovování nebezpečnosti jednotlivých solí je určující jejich rozpustnost, ale také hodnota relativní vlhkosti, při které je možné, aby roztoky solí začaly krystalizovat. Pokud máme roztoky, nad nimiž se udržuje relativní vlhkost nad 75 %, pak dochází ke krystalizaci často. V případě, kdy je nad roztoky udržována relativní vlhkost 50 – 75 %, dochází ke krystalizaci jen zřídka. A jen zcela výjimečně dojde ke krystalizaci při relativní vlhkosti pod 50 %. [19]

Soli první a druhé skupiny jsou schopné za určitých podmínek, jako např. za velmi nízké vlhkosti vzduchu, ale především zvýšené teploty, přijít o krystalovou vodu, kterou za vhodných podmínek opět nabírají. To znamená, že jsou schopny rekrystalizovat. Vzhledem ke kolísajícím podmínkám se může tento proces neustále opakovat. K porušení materiálu však dojde tehdy, pokud tyto soli rekrystalizují v tzv. přípovrchových vrstvách. Při krystalizaci solí na povrchu dochází ke vzniku výkvětů (eflorescence), které však poškozují materiál pouze povrchově. V případě špatně rozpustných solí, jako je např. sádrovec, je nebezpečí vzniku nepropustné krusty, která se následně může odtrhnout i s částí podkladní vrstvy. Soli třetí skupiny krystalizují pouze v případě zcela extrémních podmínek. Materiál nám však poškozují nepřímo. Tyto soli jsou hygroskopické, a tak snadno přijímají vodu z okolního ovzduší. Tím dochází k zavlhčování stavebního materiálu, což způsobuje škody jinými korozivními účinky. [19]

Soli mohou pocházet z různých zdrojů (jako např. z podzákladí, z vlastního stavebního materiálu, z ovzduší apod.), je tedy běžné, že se v exponovaném stavebním materiálu bude vyskytovat hned několik druhů solí. [19]

Pro zděné konstrukce je zvláště nebezpečný tzv. zdivokaz, což je ve své podstatě ledek vápenatý Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Obvykle se vyskytuje v cihelných stěnách stájí. Jeho původ je spojen s činností nitrifikačních bakterií, které přetvářejí dusík organických látek v kyselinu dusičnou. Ta následně s vápnem, které je obsaženo v maltě nebo cihlách, vytvoří rozpustný ledek vápenatý, který se za trvalého působení neustále rozpouští a znovu krystalizuje. Tím dochází k postupnému porušování zdiva. Zdivokaz se na povrchu projevuje typickými výkvěty, které dle chemického složení vytváří bílý až šedý jehličkovitý povlak. [19]

### 3. 3. 2. Chemická degradace

Při chemické korozi dochází vlivem agresivního prostředí ke snížení především fyzikálně mechanických vlastností stavebních materiálů, mnohdy až pod nezbytné užitné hodnoty. Základní

podstatou chemické degradace jsou chemické reakce mezi tuhou a kapalnou, případně plynnou fází. V průběhu reakcí působí nejen vlastní chemická reakce, ale také přenosné jevy, díky nimž jsou přivedeny reagující látky a odvedeny reakční produkty. Pomocí přenosů jsou vytvářeny vhodné podmínky pro průběhy chemických reakcí. [19]

Pro chemické degradační procesy jsou charakteristické změny pórového systému v důsledku chemické reakce rozpuštěných solí se složkami stavebních materiálů, obzvláště pojiva. Chemická degradace je způsobena především reakcí méně stabilních složek stavebních hmot, kterými je např. uhličitán vápenatý  $\text{CaCO}_3$ , s roztoky slabých kyselin. Neodmyslitelnou součástí chemických reakcí je vlhkost, která ve většině slouží jako nosič chemických látek a je také podmínkou pro vytvoření ideálního prostředí pro růst a produkci metabolismů mikroorganismů apod. [19]

Vápenné a vápenocementové malty, sedimentární horniny, beton a některé cihelné výrobky obsahují uhličitán vápenatý  $\text{CaCO}_3$ , případně hydroxid vápenatý  $\text{Ca(OH)}_2$  a oxid vápenatý  $\text{CaO}$ . Jedná se o významné pojivé složky uvedených stavebních materiálů, ale zároveň nejméně stabilní sloučeniny. Při jejich reakcích s roztoky slabých kyselin vzniknou rozpustné soli, které jsou vyplaveny na povrch, kde dojde k jejich krystalizaci neboli ke vzniku charakteristických výkvětů. Při vymývání pojivových složek stavebního materiálu dojde ke snížení mechanických vlastností a zvýšení pórovitosti, čímž se zvýší také nasákavost. Přímo úměrně se zvětšením nasákavosti se snižuje mrazuvzdornost stavebních hmot. Dochází k postupné degradaci, kterou provází povrchová i vnitřní koroze. [19]

U přírodního kamene je rozklad urychlen produkty látkových výměn jistých druhů bakterií a mikroorganismů. Některé druhy kamene, především pískovce s kalcitickými pojivy a hlinitými příměsemi, jsou citlivé na vlivy atmosférických škodlivin, které jsou schopné přeměnit pojivé části na složky rozpustné ve vodě. [19]

Při zvýšeném obsahu solí, které krystalizují v keramické hmotě, dochází k podstatným změnám dilatometrických vlastností cihelného střepe. Pokud je v cihelném zdivu nerovnoměrný obsah solí (např. chloridů), dochází především na povrchu ke značnému vnitřnímu pnutí i za konstantního průběhu klimatických účinků po průřezu zdiva. Napětí následně vedou často k rozpadu a odlupování povrchových vrstev (obr. 20). [19]



Obrázek 20: Degradace povrchových vrstev cihelného zdiva [19]

Velmi rozsáhlé jsou poruchy zděných konstrukcí, které jsou vystaveny trvale vlhkému prostředí. Je pro ně charakteristická postupná degradace, rozpad kusového staviva i malty ve spárách. Dále se degradace může projevovat uvolňováním zdících prvků, postupným rozrušováním

a dezintegrací zdiva. Tím se následně snižuje únosnost a dojde ke ztrátě funkční způsobilosti zděné konstrukce. V případě historických objektů, které nejsou trvale vytápěny a užívány (např. sakrální stavby, zámky, apod.), se vyskytuje v nejnižších podlažích zvýšená relativní vlhkost vzduchu okolo 65%, na zdivu je pak hodnota vlhkosti zvětšená na přibližně 10%, u dřevěných konstrukcí může dosahovat až 20% (rámy oken, podlahy, atd.). Tato vlhkost zapříčiňuje postupnou degradaci stavebních materiálů. [19]

Při degradaci stavebního kamene hrají dominantní roli hydratované formy oxidu síry. Na povrchu kamene tvoří gelové, nebo krystalicko-gelové vrstvičky s různým stupněm zpevnění. Do pórového systému kamene pak vniká dvojsytná disociovaná kyselina, která vzniká přeměnou oxidu siřičitého  $\text{SO}_2$  z pevných emisí nebo činností mikroorganismů na  $\text{SO}_3$  v hydratované formě. Kyselina následně reaguje s nestabilními horninotvornými minerály výměnnými reakcemi, při čemž je nahrazován především karbonátový iont. Současně dochází k reakci s volně migrujícími alkáliemi na draselné, sodné, vápenaté, hořečnaté či amonné sírany v hydratované formě. Ty způsobí krystalizaci v pórovém systému za vzniku silných tlaků vyvíjených na strukturu kamene. Krystalizační tlaky vzrůstají v závislosti na drenáži, respiraci kamene a difuzním gradientu v místech zúžení pórů, ale také v místech vyústění makropórů v krustě (obr. 21). [19]



Obrázek 21: Degradace sedimentárního kamene, usazování solí na povrchu [19]

### 3. 3. 3. Mikrobiologická a biologická degradace

Na vlhkém zdivu jsou často patrné vlhkostní mapy, nebo odlupování povrchových vrstev zdiva i omítky. Tyto viditelné jevy však obvykle doprovází také tvorba povlaků a depozit organických činitelů. [19]

Mikroorganismy, které jsou ve zdivu přítomné obvykle v povlacích a přípovrchových vrstvách, zvyšují konečný degradační účinek vlhkosti. Povrch stavebního kamene, především sedimentárního původu, obsahuje dostatek organické hmoty (prach, mastnoty, uhlovodíky), která je potřebná pro intenzivní rozvíjení mikrobů na povrchu, ale i uvnitř kamene. To následně způsobuje dezintegraci „napadeného“ kamene. [19]

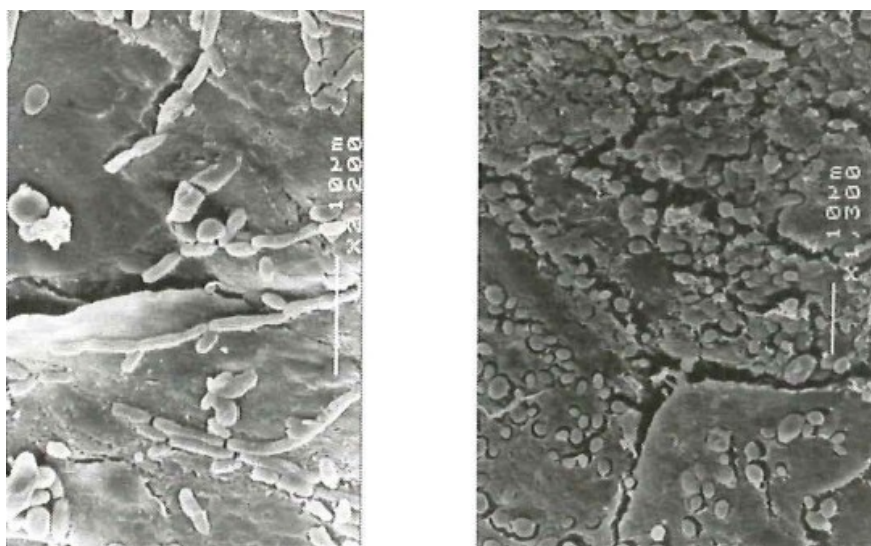
Mezi další biologické agresivní činitele patří řasy, mechy a lišejníky. Ty svými metabolity, společně s podporou transportu vlhkosti do zdiva a chelatizačními účinky způsobí degradaci a postupné narušování zdiva, kusového staviva, malt a případně povrchových úprav (obr. 22). [19]





Obrázek 22: Degradace kamenného zdiva řasami [19]

Na površích zdiva se s pomocí mikrobů mohou tvořit povlaky či patiny. Tyto povlaky mohou zabraňovat dýchání kamene a zdiva, ucpávají póry omítek a přispívají k jejich rozpadu. Na pískovcích a mramorech se vyskytují povlaky s bohatou mikroflórou, které tvoří především řasy, plísně, kvasinky, lišejníky a různé druhy bakterií (koky). Bakterie (obr. 23) se nacházejí na povrchu i uvnitř krusty, mikromycety pak rostou především na vnějším líci krusty a kvasinky na vnitřním líci. Organismy, které se nacházejí v krustě, produkují kyseliny, které značně snižují hodnoty pH povrchu kamene. [19]



Obrázek 23: Přítomnost bakterií na povrchu stavebního kamene (vlevo) a omítky (vpravo) [19]

## 4. Stavebně technický průzkum

Stavebně technický průzkum (dále jen STP) představuje významnou metodiku při posuzování vad a poruch stavebních objektů. Provádíme jej většinou při sanaci, rekonstrukci, či případně při změně užívání. Každý STP může být odlišný svým rozsahem, použitými zkušebními metodami, či podrobností jeho provádění.

Stavebně technický průzkum se ve své podstatě zaměřuje na několik dílčích oblastí. Základní částí je průzkum *konstrukční a statický*, ten má za úkol stanovit poruchy konstrukcí, jejich znehodnocení, vlastnosti použitých stavebních materiálů apod. Dále je součástí STP *průzkum vlhkostní*, ten zkoumá veškeré projevy vlhkosti na stavebním objektu. Posledním oddílem je zkoumání *biokoroze objektu*, zde se zabýváme výskytem plísní, či např. přítomností dřevokazného hmyzu a hub.

Každou vadu a poruchu lze zkoumat různými metodami. Některé lze identifikovat jednoduchými zkouškami, v případě vážnějších nedostatků již musíme přistoupit k náročnějším metodám zkoušení. Pokud budeme mít v rámci STP důvodné podezření, že by mohlo dojít k ohrožení zdraví či života osob, můžeme doporučit provedení bezprostředních opatření, sanací, případně ukončení provozu v určité části stavby. Postupy provádění STP jsou důkladně uvedeny v normě ČSN ISO 13 822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí.

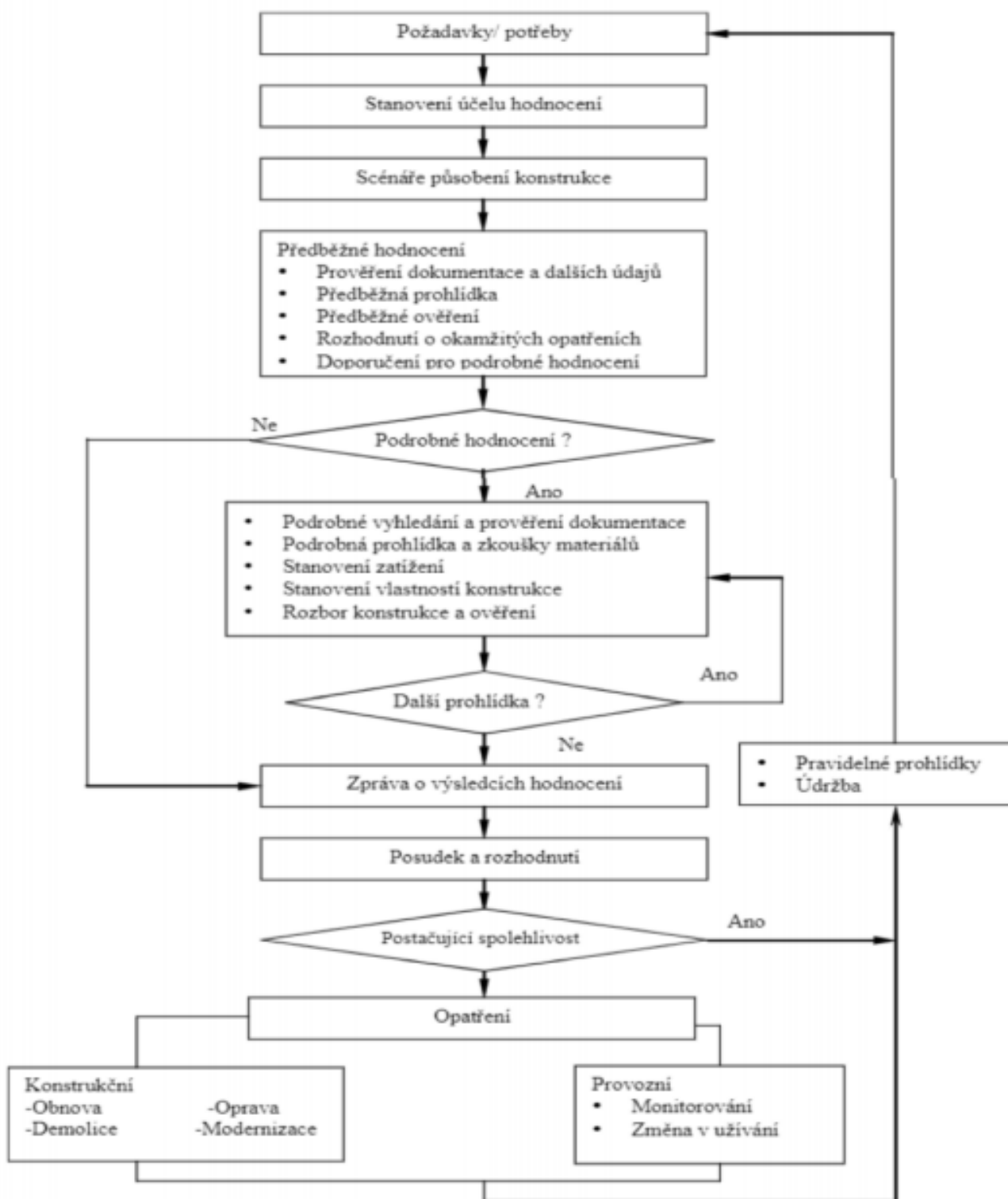
Rozsah prováděné diagnostiky objektu je vždy závislý na mnoha faktorech. Zprvu se samozřejmě bude odvíjet od samotné velikosti stavebního objektu, dále také závisí na možnosti použití diagnostických metod (ne vždy můžeme zkoušet semi-destruktivními, či destruktivními metodami). Důležitým aspektem při provádění STP je též možný přístup ke konstrukcím určeným ke zkoumání a možnost provádění sond v těžko dostupných místech.

Výsledkem STP je závěrečná zpráva, která by měla obsahovat veškeré informace o objednateli a zpracovateli průzkumu, popis stavebního objektu a všech zjištěných vad a poruch. Ve zprávě musí být uvedeno označení jednotlivých částí objektu, kde a jakými způsoby probíhal odběr vzorků a jaké diagnostické metody byly při průzkumu použity. Výstup samozřejmě obsahuje také hodnocení základových, svislých a vodorovných konstrukcí. Důležité je taktéž hodnocení střech, střešní krytiny a případných vlhkostních změn ve zkoumaném stavebním objektu. Závěrečné hodnocení může obsahovat doporučení pro doplnění průzkumu, nebo návrh provádění sanačních zásahů.

Stavebně technický průzkum rozdělujeme dle fáze provádění a podrobnosti zkoumání objektu na tři dílčí části a to:

- předběžný STP;
- podrobný STP;
- doplňkový STP.

V normě ČSN ISO 13 822 je také uveden vývojový diagram, který nám udává obecný postup pro hodnocení existujících konstrukcí (obr. 24).



Obrázek 24: Vývojový diagram pro postup hodnocení existujících konstrukcí [7]

#### **4. 1. Předběžný stavebně technický průzkum**

Předběžný STP slouží především pro shromáždění veškerých informací o zkoumaném stavebním objektu. V rámci této části se snažíme získat všechny potřebné podklady, jako např. projektovou dokumentaci, fotodokumentaci z doby výstavby apod. Snažíme se vyhledat záznamy z vývoje využití objektu, včetně všech možných změn. Shromažďujeme také informace o napojení stavby na okolní objekty, včetně vedení inženýrských sítí. V neposlední řadě provádíme v rámci předběžného STP vizuální průzkum stavebního objektu zaměřený na kvalitativní hodnocení, při kterém zaznamenáváme veškeré vady a poruchy a ověřujeme si stávající stav oproti projektové dokumentaci. Předběžný STP probíhá ve stavebním objektu za plného provozu.

Výsledek předběžného STP můžeme použít pro navrhnutí specifikace a rozsahu provádění podrobného STP. Hodnocení na základě předběžného průzkumu nám může sloužit také jako podklad pro vypracování studie modernizace stavby.

#### **4. 2. Podrobný stavebně technický průzkum**

V rámci podrobného STP se zabýváme specifikací jednotlivých vad a poruch a jejich důkladnou analýzou. V této části průzkumu se již věnujeme destruktivnímu a nedestruktivnímu zkoušení a stanovování fyzikálních a mechanických vlastností použitých materiálů. Díky podrobnému zkoumání získáváme podklady např. pro vyhotovení statických výpočtů.

Podrobný STP provádíme za plného, nebo částečně omezeného provozu. Díky omezení provozu je možná realizace většího množství zkušebních postupů. V průběhu provádění podrobného STP můžeme předložit požadavek na provedení speciálních diagnostických metod, jako např. na vykonání chemických rozborů.

#### **4. 3. Doplnkový průzkum**

Požadavek na provedení doplňkového STP může být vznesen v případě, že došlo k objevení nových skutečností, např. při provádění rekonstrukce, nebo pokud je nutné aplikovat náročnější diagnostické metody. Průzkum se provádí při omezeném provozu, nebo je možné jej provést např. při samotné rekonstrukci stavebního objektu.

## I. Praktická část

V praktické části mé bakalářské práce je popsán stavební objekt bývalé stodoly, jejíž zdivo bylo vytvořeno z kamenných zdících prvků. Kolem otvorů ve zdivu jsou použity pálené cihly pro tvorbu nadpraží, parapetů, ale také ostění. Kromě základního popisu objektu a veškerých nalezených vad a poruch se v praktické části nachází také vyhodnocení diagnostických měření prováděných v laboratořích na odebraných zdících prvcích.

### 5. Stodola v Karlovicích, oblast Jeseníky

Pro účely mé bakalářské práce jsem hledala objekt, na kterém by bylo možné zhodnotit použití smíšeného zdiva. Vybranou stavbou je bývalá stodola, kterou zakoupili manželé Kuchařovi a upravili ji k účelům menšího ubytovacího zařízení.

#### 5. 1. Popis stavebního objektu

Stavba se nachází v obci Karlovice, která leží v okrese Bruntál v Moravskoslezském kraji. Karlovice se rozléhají v údolí řeky Opavy v oblasti východně od Vrbna pod Pradědem (obr. 25). Obec má 1017 obyvatel žijících na území o rozloze 21,6 km<sup>2</sup> (aktuální data k roku 2020 [22]). Sledovaný objekt se nachází v kopcovitém terénu. Stavba je umístěna na začátku pozemku v těsné blízkosti níže položené sousední stodoly. Přímo nad objektem se již nenachází žádná další stavba, pouze louka patřící k pozemku a dále rozlehlá pole.



Obrázek 25: Umístění stavby [25]

Na základě veškerých dohledaných informací jsem zjistila, že byl vybraný objekt postaven pravděpodobně někdy kolem roku 1850. Díky získaným údajům je rovněž známo, že byla původní stodola (obr. 26) využívána pro místní kovárnu. Zda sloužila také pro ustájení dobytka, nebo k podobným účelům, se bohužel nepodařilo dohledat. V době provádění průzkumu již probíhala rekonstrukce spojená s přístavbou severovýchodního křídla a výměnou okenních otvorů.

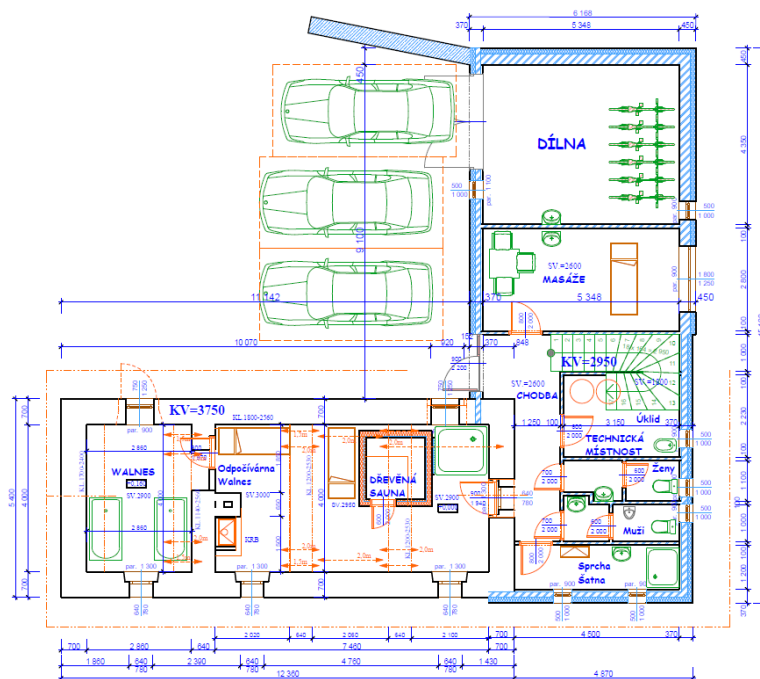




Obrázek 26: Původní objekt stodoly [25]

Původním objektem byla stodola obdélníkového tvaru, jejíž stěny byly vytvořeny z lomového kamene, nadpraží oken a dveří pak tvořily pálené cihly. Nad prvním nadzemním podlaží byla postavena dřevěná konstrukce krovu. Dřevěné byly rovněž štítové stěny a také střešní krytina byla vytvořena ze dřeva. Příjezd k objektu byl z jižní strany a vstup do budovy se nacházel na straně severní.

Půdorys původní stodoly byl i při rekonstrukci zcela zachován. Objekt (obr. 27) se rozkládal na prostoru o velikosti 12,36 x 5,4 m. Při provádění přístavby byla budova rozšířena na východní straně o 4,87 m. Dostavěné severovýchodní křídlo je celkem dlouhé 15,1 m a široké přibližně 6,2 m. Původní východní obvodová stěna plní nyní funkci vnitřní nosné stěny při plném zachování svých rozměrů.



Obrázek 27: Uspořádání půdorysu nového 1. NP; PD investora

Přistavěním objektu ze severní strany nabyla stavba půdorysu ve tvaru písmene „L“. Rovněž byla sundána původní konstrukce střechy a byla provedena nástavba nad původním objektem. Nově přistavené části budovy jsou od původních konstrukcí vizuálně odděleny pomocí dřevěného obložení stěn (obr. 28).



Obrázek 28: Stodola z východního pohledu od příjezdové cesty po provedení přístavby a nástavby; pořízeno autorem

## 5. 2. Předběžný stavebně technický průzkum

V rámci předběžného stavebně technického průzkumu jsem se zaměřila na popsání stavebního objektu a nalezení veškerých vad a poruch. Dále jsem se také pokusila nalézt přibližný historický zdroj použitých stavebních hmot.

Celá historická část objektu je tvořena zdivem z lomového kamene, konkrétně z jílovité břidlice. Nad okenními a dveřními otvory jsou nadpraží vybudována z cihel plných pálených. U okenních otvorů jsou cihly použity také pro konstrukci parapetu a u menších oken je nalezneme rovněž v ostění. U vyzdívání byla pravděpodobně použita vápenná (lokálně vápenocementová malta), která se kdysi hojně využívala i přesto, že nemá zase tak dobré vlastnosti a po letech snadno podlehne zvětřování.

Na jižní straně budovy se nachází 3 menší okenní otvory (obr. 29). Kamenivo je v této části objektu zchovalé, hůře jsou na tom cihly a použitá malta. U cihel, které jsou v lícové straně zdiva, dochází k značnému rozpadu pravděpodobně vlivem stárání společně s účinkem degradačních procesů (obr. 30). Malta je po celé délce jižní strany od horní hrany podlaží do vzdálenosti asi 1 m vydrolená, a to do hloubky přibližně 30 – 50 mm. Tento jev je pravděpodobně opět důsledkem degradačních procesů, zejména pak těch fyzikálních.





Obrázek 29: Pohled na jižní stranu objektu; pořízeno autorem



Obrázek 30: Okenní otvory na jižní straně; pořízeno autorem

Na západní straně objektu (obr. 31) se nenachází žádné okenní ani dveřní otvory. Kamenné zdící prvky opět nevykazují vizuální známky poškození. Malty ve zdivu jsou však rovněž degradované, a dokonce se ve spárách lokálně objevují rostliny, jejichž kořínky sahají hlouběji do konstrukce zdiva.



Obrázek 31: Západní strana objektu; pořízeno autorem



Ze severní strany (obr. 32) se vstupovalo do objektu dvěma dveřními otvory. Jeden z nich byl během rekonstrukce celý zazděn, druhý vyplnili zdivem pouze částečně a vytvořili tak větší okenní otvor (obr. 33). Toto vyplnění zdivem může být problematické zejména z důvodu chybějícího provázání se zdivem původním. V cihelných nadpražích je opět možné povšimnout si známek fyzikální degradace. Malta ve zdivu je rovněž do jisté hloubky degradovaná. Tato strana objektu je nejvíce zasažena také biologickými vlivy. Ve spárách nalézáme největší zastoupení všemožných rostlin a kořenových systémů vystupujících na povrch (obr. 34, 35).



Obrázek 32: Severní strana objektu; pořízeno autorem



Obrázek 33: Částečně zazděný dveřní otvor - nově vytvořený okenní otvor; pořízeno autorem



Obrázek 34: Biologické povlaky ve spárách v horní části 1. nadzemního podlaží; pořízeno autorem



Obrázek 35: Kořínky vystupující ze zdiva; pořízeno autorem

Na východní straně objektu nebylo možné zaznamenat stav původních konstrukcí z důvodu již provedené přístavby.

Z interiérové strany nebyly na zdivu viditelné žádné trhliny. Vlhkostní mapy se na zdivu nevyskytovaly. Přesto byla relativní vlhkost vzduchu v interiéru značně zvýšená, dosahovala hodnot až 80 %.

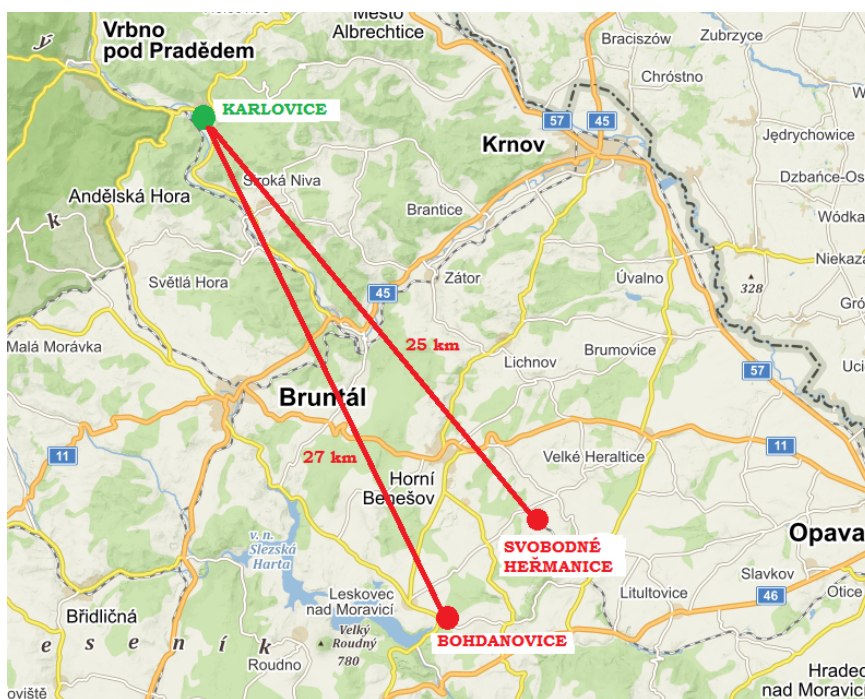
Veškeré vady a poruchy nalezené na zkoumaném stavebním objektu jsou zaznačeny na výkrese v příloze č. 1.



### 5. 3. Vyhledání zdrojů stavebních hmot

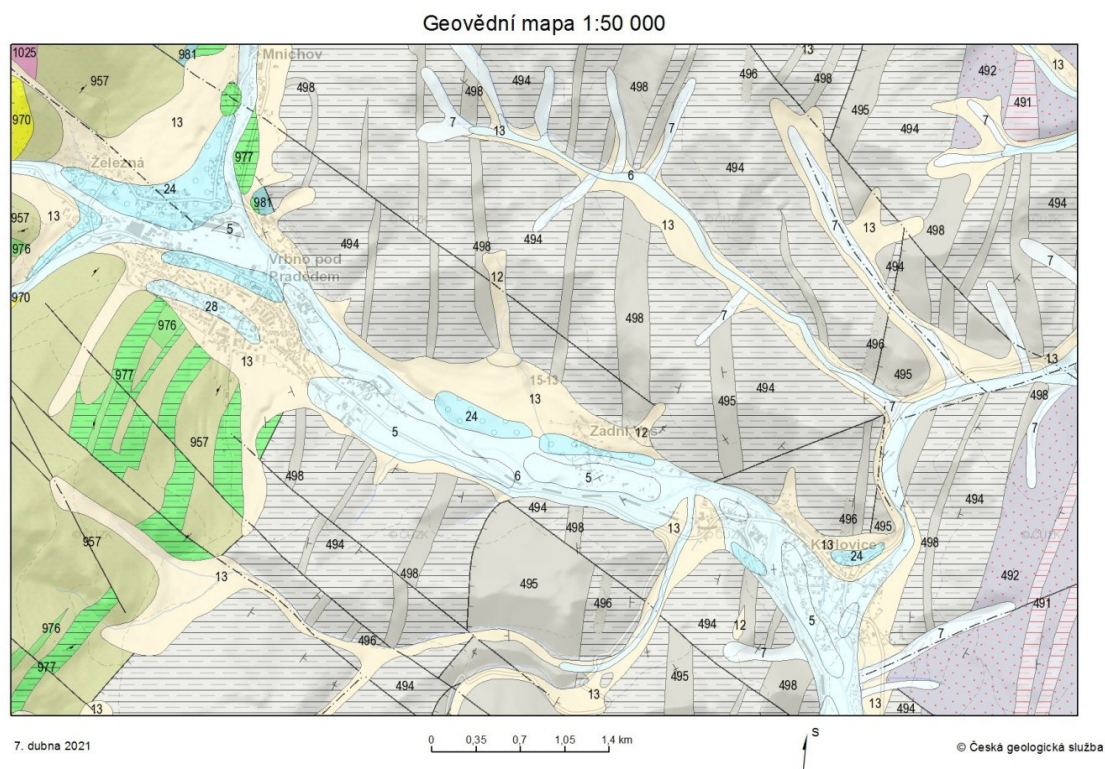
Po provedení prohlídky stavebního objektu a důkladné fotodokumentaci bylo nutné lokalizovat pravděpodobná místa, ze kterých byl stavební materiál dodáván. Zaměřila jsem se tedy na vyhledání historické cihelny a lomu jílovité břidlice v blízkém okolí stavby. Vzhledem k tomu, že v minulosti se pro stavby používaly především lokální zdroje, bylo potřeba se zaměřit na nejbližší možné oblasti.

Jako první jsem se zabývala vyhledáváním zdroje jílovité břidlice. Nejprve jsem si zjistila, které břidličné lomy fungovaly přibližně v období výstavby sledovaného objektu, tedy kolem roku 1850. V oblasti Jesenicka se nacházelo v 19. století opravdu velké množství dolů pro těžbu břidličného kamene. Těžilo se např. ve Svatoňovicích, Hořejších Kunčicích, Jakartovicích, Bohdanovicích a Svobodných Heřmanicích [21]. Vzhledem k vyhledávání dojezdových vzdáleností k obci Karlovice přichází v úvahu především lom Bohdanovice, vzdálený přibližně 40 km, a Svobodné Heřmanice, které se nacházejí cca 38 km od Karlovic. Dojezdové vzdálenosti u obou oblastí jsou téměř totožné, proto není možné s určitostí, bez dalšího zkoumání, říct, z které oblasti byla přesně břidlice dovezena (obr. 36). Taktéž je možné, že byl využit nějaký místní nezdokumentovaný zdroj, ale to je obtížné potvrdit.



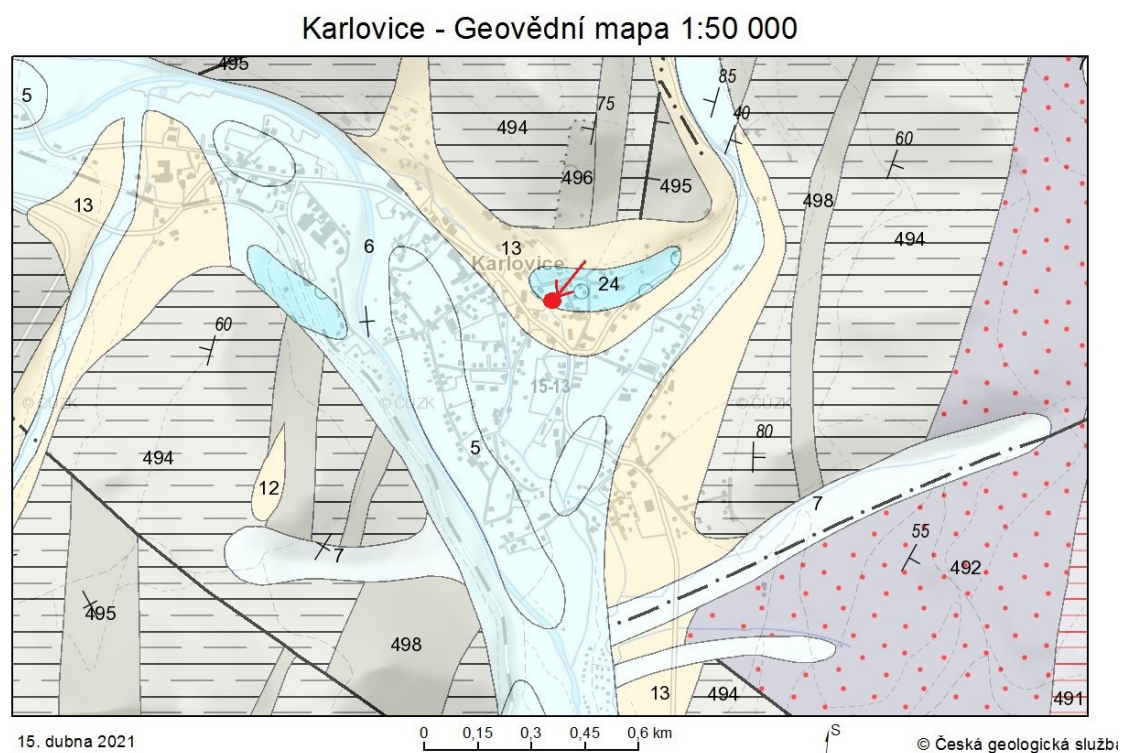
Obrázek 36: Vyznačení vzdušných vzdáleností nejbližších břidličných lomů [25]

Dalším úkolem bylo nalezení nejbližší historické cihelny, odkud mohly být dovezeny pálené cihly. Při svém hledání jsem se jako první zaměřila na lokalizaci ložisek jílu vhodných pro tvorbu cihelných prvků. Cihelna se totiž většinou nacházela v blízkosti největších zdrojů potřebných hlín. Pomocí mapy na serveru České geologické služby jsem našla nejbližší možné ložisko v oblasti kolem Vrbna pod Pradědem (obr. 37). Díky této informaci jsem zjistila, že ve Vrbně pod Pradědem se kdysi opravdu cihelna nacházela. Je tedy velmi pravděpodobné, že byly cihly dovezeny právě odtud.



**Obrázek 37: Vyhledání ložisek pomocí geovědní mapy; vhodná jílovitá zemina označena č. 13 [24]**

Nicméně je možné, že se v daném místě vyráběly lokálně cihly „po domácku“, aby bylo ušetřeno zejména za nákup materiálu a přepravu. Tuto hypotézu může potvrzovat výskyt řady hamrů a objektů s pecí v okolí objektu a taktéž výskyt vhodných surovin v místě stavby (viz. Obr. 38).



**Obrázek 38: Vyhledání ložisek pomocí geovědní mapy v obci Karlovice - včetně umístění objektu; vhodná jílovitá zemina označena č. 13 [24]**



## 5. 4. Podrobný stavebně technický průzkum

V rámci provádění podrobného stavebně technického průzkumu byly z objektu odebrány vzorky cihel a kamene. Jednalo se o celé kusy zdících prvků, které byly následně v laboratoři upraveny a použity pro odzkoušení základních materiálových charakteristik.

### 5. 4. 1. Odběrná místa vzorků, značení vzorků

Ze zděné konstrukce bylo možné odebrat celé zdící prvky z důvodu přestavby, při které došlo k výměně cihelných překladů za kamenné (obr. 39). Vzhledem k jednotlivým fázím rekonstrukce bylo možné odebrání vzorků pouze z jižní strany stavebního objektu. Pálené cihly byly odejmuty z překladů a ostění tří menších okenních otvorů, kamenné prvky byly rovněž z těsné blízkosti překladových prvků. Odběrná místa jsou zaznačena ve výkrese v příloze č. 2.



Obrázek 39: Úprava překladů a ostění okenních otvorů; vlevo foto před úpravou, vpravo foto po provedených úpravách; pořízeno autorem

Vzorky byly označovány na základě zkoušek, ke kterým byly vytvořeny. Značení zkoušených cihel plných pálených (tab. 6) a kamene (tab. 7) tedy bylo následovné:

Tabulka 6: Značení zkoušených cihelných prvků

Provedená zkouška	Označení vzorků
Nasákavost	MAT-N-1 - MAT-N-16
Nasákavost kapilární vzlínavostí	MAT-KV-1 - MAT-KV-10
Pevnost v tlaku	MAT-P-1 - MAT-P-10
Kučerova vrtačka - pevnost v tlaku	MAT-1 - MAT-10

Tabulka 7: Značení zkoušených kamenných prvků

Provedená zkouška	Označení vzorků
Nasákavost	MAT-N-1 - MAT-N-16
Pevnost v tlaku	MAT-P-1 - MAT-P-8
Kučerova vrtačka - pevnost v tlaku	MAT-1 - MAT-7

Kromě výše uvedených vlastností byla u vzorků určována i objemová hmotnost. Ta byla u cihelných prvků stanovována na všech vzorcích před zahájením zkoušení příslušných vlastností. U kamene byla objemová hmotnost stanovena pomocí pyknometrické zkoušky.

#### 5. 4. 2. Stanovení objemové hmotnosti cihel plných pálených

Stanovení objemové hmotnosti bylo provedeno na základě normy ČSN EN 772-13 [5]. Veškeré vzorky byly důkladně změřeny a zváženy (obr. 40). Objemová hmotnost byla stanovena u všech prvků, které měly pravidelné rozměry a bylo tedy možné provést jejich měření a vážení, jedná se o vyrobené kostky přibližného rozměru 50x50x50 mm, ale také o celé zdící prvky.



Obrázek 40: Měření vzorku pomocí posuvného měřítka a vážení vzorku digitální laboratorní váhou s přesností na 0,1 g; pořízeno autorem

Následně se vypočítá objem  $V_{g,u}$  z naměřených hodnot délky, šířky a výšky vzorku. Objemová hmotnost zdícího prvku za sucha  $\rho_{g,u}$  se poté spočítá jako podíl hmotnosti prvku za sucha  $m_{dry,u}$  a objemu prvku  $V_{g,u}$  dle vzorce (1):

$$\rho_{g,u} = \frac{m_{dry,u}}{V_{g,u}} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (1)$$

Kde:

$\rho_{g,u}$  ... objemová hmotnost zdícího prvku za sucha  $[\text{kg/m}^3]$

$m_{dry,u}$  ... hmotnost zdícího prvku za sucha  $[\text{kg}]$

$V_{g,u}$  ... objem zdícího prvku  $[\text{m}^3]$

Vzhledem k objemovým hmotnostem prvků přes  $1000 \text{ kg/m}^3$  byly hodnoty vždy zaokrouhleny na nejbližších  $10 \text{ kg/m}^3$ .

Cílem měření je porovnat, jak se liší hodnoty objemové hmotnosti u nařezaných vzorků krychlí a celých zdících (tab. 8). Výpočet objemové hmotnosti připravených těles (příloha č. 3) je

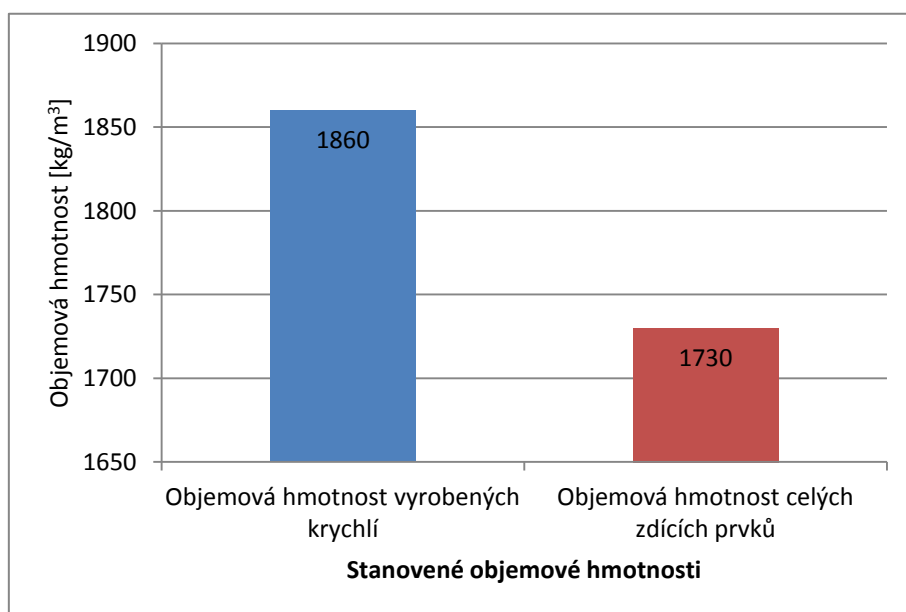
proveden na základě hodnot hmotnosti a objemu vzorků získaných z vyrobených krychlí přibližných rozměrů 50x50x50 mm. Do druhého výpočtu objemových hmotností (příloha č. 4) vstupují příslušné hodnoty získané z celých zdících prvků.

**Tabulka 8: Stanovení objemových hmotností cihelných zdících prvků**

<b>Krychle vyrobené z cihel plných pálených</b>	
Výběrový průměr vyšetřované objemové hmotnosti $\rho_{g,u,p}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1863
Výběrová směrodatná odchylka $\sigma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	98
Interval spolehlivosti $< \rho_{g,u,p} - 3 * \sigma; \rho_{g,u,p} + 3 * \sigma >$	$< 1569; 2157 >$
Objemová hmotnost vyrobených krychlí $\rho_{g,u}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1860
<b>Celé cihelné zdící prvky</b>	
Výběrový průměr vyšetřované objemové hmotnosti $\rho_{g,u,p}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1728
Výběrová směrodatná odchylka $\sigma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	145
Interval spolehlivosti $< \rho_{g,u,p} - 3 * \sigma; \rho_{g,u,p} + 3 * \sigma >$	$< 1293; 2163 >$
Objemová hmotnost zdících prvků $\rho_{g,u}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1730

Ze získaných hodnot byla vypočtena průměrná hodnota objemové hmotnosti, směrodatná odchylka a interval spolehlivosti. V následujícím kroku bylo zjištěno, že všechny hodnoty vyhovují intervalu spolehlivosti (tab. 8 a příloha č. 3), proto nebylo nutné žádnou hodnotu z výpočtu průměru vyřadit. Průměrná objemová hmotnost vyrobených krychlí z cihel plných pálených tedy dosahovala hodnoty 1860 kg/m<sup>3</sup>.

V případě celých zdících prvků byly rovněž ze získaných hodnot stanoveny příslušné charakteristiky. Na základě výsledků intervalu spolehlivosti nebyla vyřazena žádná získaná hodnota. Průměrná hodnota objemové hmotnosti celých zdících prvků z cihel plných pálených tak je 1730 kg/m<sup>3</sup>.



**Obrázek 41: Grafické znázornění výsledků objemových hmotností**



Hodnota objemové hmotnosti celých zdících prvků vyšla nižší než u vyrobených krychlí (obr. 41). Obě hodnoty však vyhovují stanovenému rozmezí objemových hmotností cihel plných pálených (1600 – 1900 kg/m<sup>3</sup>). Rozdíl v hodnotách by mohl být způsoben větším procentuálním zastoupením dutin a pórů v případě celých zdících prvků, a taktéž větším podílem degradovaného povrchu, který byl v rámci přípravy vzorku částečně odstraněn.

#### 5. 4. 3. Stanovení objemové hmotnosti kamene

Pro stanovení objemové hmotnosti kamene byla upravena pyknometrická zkouška na základě normy ČSN EN 1097-6 [1]. Pro zkoušku byl vytvořen zkušební vzorek, skládající se z několika celých kusů kamene. Zkoušený vzorek se umístí do nádoby tak, aby byl zcela ponořen ve vodě, a je tam ponechán po dobu 24 hodin. Po uplynutí stanoveného času je kamenivo vyjmuto z nádoby a povrchově osušeno. Následně se zjistí hmotnost vzorku  $m_a$ . Vzorek osušeného kameniva se vloží do upraveného pyknometru (obr. 42), ten se následně naplní vodou. Kamenivo uvnitř se promíchá, aby byly odstraněny vzduchové bubliny mezi jednotlivými zrny. Do pyknometru se doplní voda až po úroveň rysky a zjistí se hmotnost  $m_b$  pyknometru s vodou a vzorkem. Následně je obsah pyknometru vyjmut a dojde k opětovnému naplnění vodou až po vyznačenou rysku. Pyknometr naplněný vodou se zváží a tím je získána hodnota  $m_c$ . V případě určování objemové hmotnosti vysušeného vzorku je nutné vložit vzorek na 24 hodin do sušárny o teplotě (105±5) °C. Po vysušení se vzorek zváží a zaznamená se hodnota  $m_d$ .



Obrázek 42: Vytvořená nádoba pyknometru; pořízeno autorem

Objemová hmotnost nasyceného povrchově osušeného vzorku  $\rho_{ps}$  v kg/m<sup>3</sup> se vypočítá na základě vzorce (2):

$$\rho_{ps} = \frac{m_a}{m_a - (m_b - m_c)} * \rho_w \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (2)$$

Objemová hmotnost vysušeného vzorku  $\rho_{po}$  v kg/m<sup>3</sup> se poté spočítá na základě vztahu (3):

$$\rho_{po} = \frac{m_d}{m_a - (m_b - m_c)} * \rho_w \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (3)$$

Kde:

$m_a$  ... hmotnost nasyceného povrchově osušeného vzorku [kg]

$m_b$  ... celková hmotnost pyknometru, kameniva a vody [kg]

$m_c$  ... celková hmotnost pyknometru s vodou [kg]

$m_d$  ... hmotnost vysušeného vzorku [kg]

$\rho_w$  ... hustota vody (pro výpočet dosazujeme hodnotu 1000 kg/m<sup>3</sup>)

Výsledkem zkoušky je hodnota objemové hmotnosti v kg/m<sup>3</sup>, která se následně zaokrouhluje na nejbližších 10 kg/m<sup>3</sup>. Naměřené hodnoty a výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Tabulka 9: Stanovení objemové hmotnosti kamene

Hmotnost nasáknuté navážky kamene $m_a$	2,3354	kg
Pyknometr + voda + kámen $m_b$	2,4098	kg
Pyknometr + voda $m_c$	11,5635	kg
Hmotnost vysušené navážky kamene $m_d$	10,1245	kg
Objemová hmotnost nasyceného kamene $\rho_{ps}$	2610	kg/m <sup>3</sup>
Objemová hmotnost vysušeného kamene $\rho_{po}$	2550	kg/m <sup>3</sup>

Objemové hmotnosti břidličného kamene mohou dosahovat hodnot až kolem 2800 kg/m<sup>3</sup>. Hodnoty získané pomocí vzorků ze sledovaného objektu jsou menší než maximálně možné, dosahují výsledků okolo 2600 kg/m<sup>3</sup>, což může být dáno i lokalitou těžby. Nižší objemové hmotnosti mohou být zapříčiněny také dlouhodobým uložením kamenných prvků ve zdivu. Vzhledem k tomu, že byla zděná konstrukce vytvořena již v polovině 19. století, mohlo dojít k částečnému zvětrání zdících prvků.

#### 5. 4. 4. Stanovení nasákavosti zdících prvků

Stanovení nasákavosti proběhlo na základě postupu uvedeného v normě ČSN EN 772-21 [6]. Nasákavost byla určována na 10 ks vyrobených kostek z celých kusů cihel plných pálených, s rozměry přibližně 50x50x50 mm. Dále byla tato zkouška provedena na 6 úplných kusech odebraných cihel (obr. 43). Vzhledem k tomu, že bylo nutné provést srovnání s kamennými prvky, byl níže uvedený postup stanovení nasákavosti rovněž použit pro 16 celých kusů přírodního kamene (obr. 44).



Obrázek 43: Vzorky cihel plných pálených pro stanovení nasákavosti; pořízeno autorem



Obrázek 44: Vzorky kamene pro stanovení nasákavosti; pořízeno autorem

Vzorky se nechají sušit v sušárně (obr. 45) při teplotě  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$  do ustálené hmotnosti  $M_d$ . Ustálená hmotnost představuje hodnotu hmotnosti, kdy rozdíl dvou měřených hodnot během sušení s intervalem 24 hodin nepřekročí 0,2% celkové hmotnosti vzorku.



Obrázek 45: Vzorky umístěné do sušárny; pořízeno autorem

Před vážením se vzorky nechají vychladnout na laboratorní teplotu. Poté se vzorky umístí do nádrže s vodou. Pálené zdící prvky se nechají ponořené po dobu  $24 \pm 0,5$  h. Po vyjmutí vzorků z nádrže, se z jejich povrchu pomocí vlhké textilie nebo houby odstraní povrchová voda. Vzorky zvážíme a zapíšeme si jejich hmotnost  $M_s$ . Vypočteme hodnotu nasákavosti každého vzorku  $W_s$  dle vzorce (4):

$$W_s = \frac{M_s - M_d}{M_d} * 100\% \quad [\%] \quad (4)$$

Kde:

$M_d$  ... hmotnost vzorku po vysušení [g]

$M_s$  ... hmotnost vzorku po ukončení nasycování [g]

$W_s$  ... nasákavost vzorku [%]

Po provedení výpočtu hodnot nasákavosti zdících prvků, jsou výsledky zaokrouhleny na nejbližších 0,1 %.

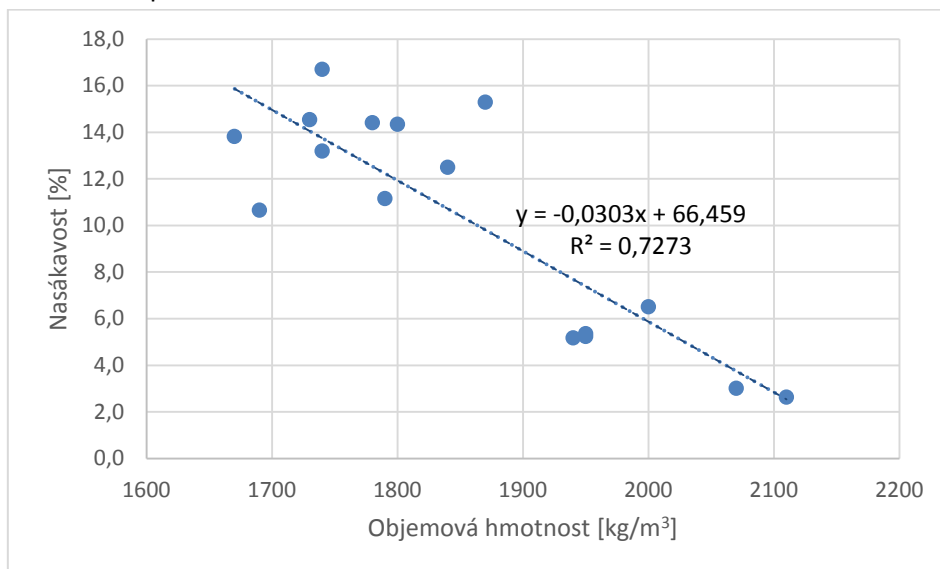
Při výpočtu nasákavosti cihel plných pálených jsem rozdělila výpočet do dvou částí, v jedné je vypočítaná nasákavost krychlí vyrobených z cihel plných pálených (tab. 10, příloha č. 5) a v druhé je pak uvedena hodnota pro celé cihelné zdící prvky (tab. 10, příloha č. 6).

Pro hodnoty nasákavosti cihel byl také stanoven interval spolehlivosti (příloha č. 5 a č. 6). Na základě tohoto intervalu nebyl z výpočtu průměrné nasákavosti vyřazen žádný z vzorků krychelných těles s výslednou nasákavostí cihel 9,9 %. Také pro hodnoty nasákavosti celých cihelných prvků nebylo nutné vyřadit žádnou ze získaných hodnot s nasákavostí v průměru 11,0 %.

**Tabulka 10: Stanovení nasákavosti cihelných zdících prvků**

<b>Krychle vyrobené z cihel plných pálených</b>	
Výběrový průměr vyšetřované nasákavosti vyrobených krychlí $W_{s,p}$ [%]	9,9
Výběrová směrodatná odchylka $\sigma$ [%]	5,4
Interval spolehlivosti $< W_{s,p} - 3 \cdot \sigma; W_{s,p} + 3 \cdot \sigma >$	$< 0; 26,1 >$
Nasákavost krychlí vyrobených z cihel $W_s$ [%]	9,9
<b>Celé cihelné zdící prvky</b>	
Výběrový průměr vyšetřované nasákavosti celých zdících prvků $W_{s,p}$ [%]	11,0
Výběrová směrodatná odchylka $\sigma$ [%]	4,0
Interval spolehlivosti $< W_{s,p} - 3 \cdot \sigma; W_{s,p} + 3 \cdot \sigma >$	$< 0; 23 >$
Nasákavost celých cihelných zdících prvků $W_s$ [%]	11,0

Reálná hodnota nasákavosti cihel plných pálených se pohybuje někde okolo 15 %. Blíže reálnému výsledku se tedy dostává nasákavost celých cihelných zdících prvků, která činí 11,0 %. Výsledek nasákavosti v případě krychlí je ovlivněn místem v cihle, ze kterého byl prvek vyřezán. Cihla totiž dosahuje ve středu jiných hodnot nasákavosti než u kraje. Vzhledem k tomu, že byly vzorky vyřezány z různých míst, můžeme se dobrat mírně odlišných výsledků než v případě celistvých prvků. Hodnoty stanovené na celých zdících prvcích nám dávají komplexnější pohled na danou charakteristiku zdícího prvku.



**Obrázek 46: Grafické vyjádření nasákavosti na objemové hmotnosti prvků**

Na základě toho, že jsem u všech vzorků pálených cihel, které byly zkoušeny na nasákavost, určila také objemovou hmotnost, je nyní možné pomocí grafu (obr. 46) porovnat, jak se tyto hodnoty navzájem ovlivňují. S rostoucí objemovou hmotností se snižuje nasákavost zkoušených vzorků.

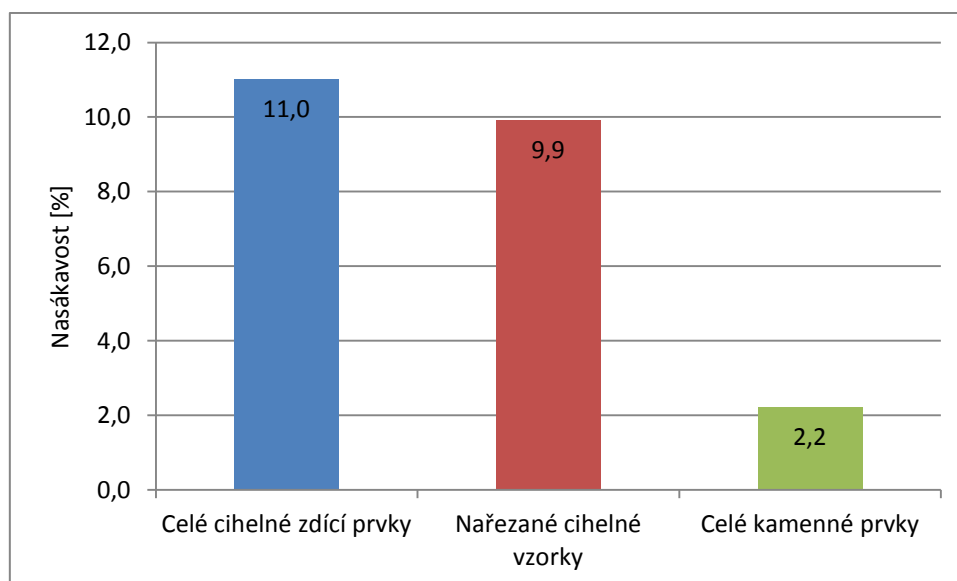
Po stanovení nasákavosti vzorků cihel plných pálených bylo nutné vypočítat tuto hodnotu také pro prvky z přírodní břidlice. Nasákavost kamenných zdících prvků byla stanovena pouze na celých kusech břidlice (tab. 11, příloha č. 7). Nebylo možné aplikovat tuto zkoušku také na nařezaných vzorcích z důvodu malého počtu vyrobených krychlí, které byly přednostně použity pro pevnostní testy. Břidlice se při řezání velmi odlamovala, z toho důvodu nešel vyrobit větší počet vzorků.

**Tabulka 11: Stanovení nasákavosti celých kamenných zdících prvků**

Celé kamenné zdící prvky	
Výběrový průměr vyšetřované nasákavosti kamene $W_{s,p}$ [%]	2,2
Výběrová směrodatná odchylka $\sigma$ [%]	1,3
Interval spolehlivosti $< W_{s,p} - 3 * \sigma; W_{s,p} + 3 * \sigma >$	$< 0; 6,1 >$
Nasákavost celých kamenných prvků $W_s$ [%]	2,2

Na základě intervalu spolehlivosti hodnot vhodných pro výpočet průměrné nasákavosti (příloha č. 7), nebyl vyřazen žádný ze získaných výsledků jednotlivých prvků a průměrná hodnota nasákavosti dosahovala 2,2 %. Nasákavost břidlic se v ideálním případě pohybuje okolo 1 %, získaná hodnota však také není pro tento materiál neobvyklá.

Zatímco cihly mají hodnoty nasákavosti okolo 11 %, břidličný kámen dosahuje pouze 2,2 %. Nasákavost cihelných zdících prvků je o přibližně pětikrát vyšší než u kamenných prvků z břidlice (obr. 47). Díky této vyšší hodnotě dochází k většímu příjmu vlhkosti, proto také cihly plné pálené podléhají degradaci rychleji než břidlice.



**Obrázek 47: Grafy znázorňující nasákavost jednotlivých vzorků**



#### 5. 4. 5. Stanovení nasákavosti vody kapilárním vztlínáním

Stanovení nasákavosti vody kapilárním vztlínáním probíhalo na základě postupu stanoveného normou ČSN EN 15801 [2]. Pro zkoušku bylo vytvořeno 10 krychlí z cihel plných pálených o rozměrech přibližně 50x50x50 mm. Kamenné krychle, které měly sloužit k porovnání výsledků, nebylo z důvodu lámavosti vzorků možno vytvořit. Před zahájením zkoušení je nutné vzorky vysušit v sušárně při teplotě  $(60 \pm 2) ^\circ\text{C}$  do ustálené hmotnosti. Pro zkoušku se připraví nádoba, na jejíž dno se umístí podložní savá vrstva o tloušťce minimálně 5 mm. Do připravené nádoby se následně přidává voda do doby, než se podložní vrstva plně nasytí (obr. 48).



Obrázek 48: Příprava podkladu pro zkoušení nasákavosti kapilární vztlínavostí; pořízeno autorem

Před zahájením jsou vzorky zváženy a je zapsána hmotnost vzorku  $m_0$ . Poté se vzorky uloží na podložní vrstvu a je zahájeno měření času (obr. 49).



Obrázek 49: Sledování absorpce vody krátce po zahájení měření; pořízeno autorem

V určitých časových intervalech probíhá měření absorpce vody. Každý vzorek je vyjmut z nádoby, povrchově osušen a následně zvážen. Jednotlivé časové intervaly mezi váženími jsou závislé na rychlosti absorpce vody. Ze začátku zkoušení následuje měření v krátkých časových úsecích, ty se později prodlužují. Zkouška je ukončena, pokud není změna hmotnosti po 24 hodinách větší než 1 %.

Po zaznamenání potřebných hmotnostních změn, je vypočteno množství vody  $Q_i$ , které jednotlivé vzorky absorbovaly jednotkovou plochou ( $\text{kg/m}^2$ ) v čase  $t_i$  (s). Tento výpočet je dán vztahem (5):

$$Q_i = \left[ \frac{m_i - m_0}{A} \right] [\text{kg/m}^2] \quad (5)$$

Kde:

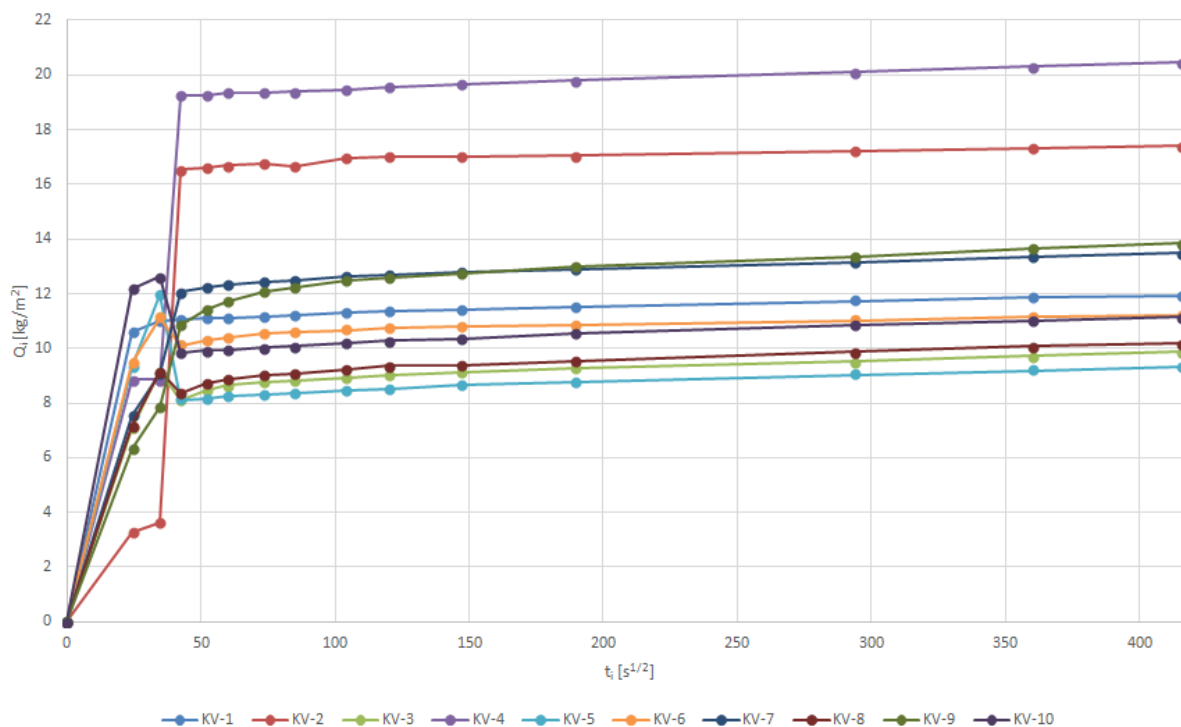
$m_i$  ... hmotnost vzorku v čase  $t_i$  [kg]

$m_0$  ... hmotnost suchého vzorku [kg]

$A$  ... plocha vzorku, která je v kontaktu s vodou [ $\text{m}^2$ ]

Součinitel kapilární nasákavosti vody  $AC$  je poté dán směrnici lineární části křivky, kterou získáme vynesemím změny hmotnosti, vztažené na plochu  $Q_i$  oproti druhé odmocnině času  $t_i^{1/2}$ , a vypočítá se pomocí lineární regrese z minimálně 5 po sobě následujících bodů.

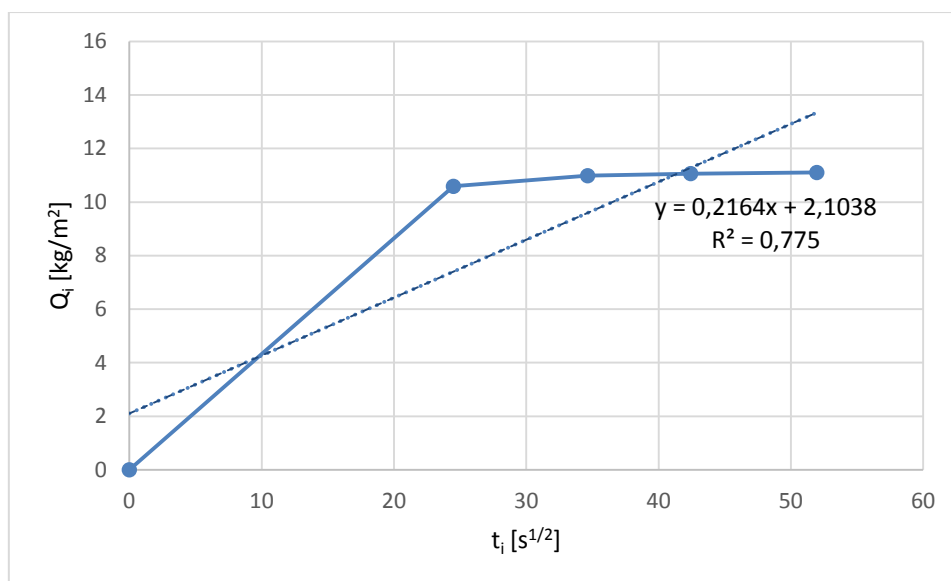
Na zkoušených vzorcích bylo provedeno měření po dobu 48 hodin. Během tohoto času bylo provedeno hned několik vážení. Ze získaných hodnot byla následně vypočtena kapilární nasákavost  $Q_i$  a také byla zaznamenána druhá odmocnina času. Díky tomu bylo možné provést grafické znázornění kapilárních křivek (obr. 50).



Obrázek 50: Kapilární křivky jednotlivých vzorků



Na základě lineární regrese (obr. 51, příloha č. 8) jsem poté získala hodnoty součinitelů kapilární nasákavosti vody AC jednotlivých vzorků.



Obrázek 51: Příklad lineární regrese u vzorku s označením MAT-KV-1

Výsledky součinitele kapilární vztláivosti (tab. 12, Příloha č. 9) se ve většině případů pohybují do hodnoty 0,25. Výsledná hodnota je ovlivňována obsahem makropórů a kapilár. Čím je hodnota součinitele kapilární vztláivosti vyšší, tím má vzorek nižší obsah makropórů a vyšší obsah kapilár. Makropóry ve vzorku přerušují kapilární kanálky, a tím je omezen transport vody. Nejvyššího součinitele bylo dosaženo u vzorku s označením MAT-KV-4, nejnižšího poté u MAT-KV-5. Můžeme tedy říct, že vzorek s nejnižší hodnotou obsahuje více makropórů než kapilár.

Tabulka 12: Stanovení součinitele kapilární nasákavosti

Označení vzorku	Součinitel kapilární nasákavosti AC [-]
MAT-KV-1	0,2164
MAT-KV-2	0,3411
MAT-KV-3	0,1688
MAT-KV-4	0,3880
MAT-KV-5	0,1628
MAT-KV-6	0,2028
MAT-KV-7	0,2457
MAT-KV-8	0,1733
MAT-KV-9	0,2280
MAT-KV-10	0,1891
Průměrná hodnota AC	0,2316

#### 5. 4. 6. Stanovení obsahu vodorozpustných solí ve zdících prvcích

Z důvodu možných průběhů fyzikálních, ale i chemických degradací, je nutné se zabývat také obsahem vodorozpustných solí ve zkoumaném zdivu. Ke stanovování obsahu vodorozpustných solí byly použity dvě metody. První metodou zkoušení bylo vyhodnocení konduktivity dle normy ČSN EN 16455 [3], poté bylo pro odhad kvantitativního zastoupení jednotlivých druhů solí využito indikačních papírků.

Stanovení obsahu vodorozpustných solí ve zdících prvcích probíhalo na vzorcích z cihel plných pálených a přírodní břídlíce. Pro obě zkoušky bylo nutné nadrtit vzorek a rozetřít jej v třecí misce (obr. 52). Připravený prášek se nadále musí prosít přes síto 0,1 mm.



Obrázek 52: Drcení a tření jednotlivých vzorků; pořízeno autorem

##### 5. 4. 6. 1. Stanovení konduktivity dle ČSN 16455

Pro hodnocení konduktivity se naváží cca  $(100 \pm 5)$  mg připraveného práškového vzorku (P). Odvážený prášek se umístí do uzavíratelné nádoby a doplní se do 100 ml ultra čistou vodou (V) se specifickou konduktivitou  $\gamma_b$ . Následně je nádoba uzavřena na dobu min.  $(24 \pm 0,2)$  h a pravidelně míchána. Před měřením se nechá roztok min. na 2 hodiny odstát, aby materiál mohl sedimentovat. Vytvořený vzorek se poté nechá přefiltrovat přes filtr 0,45  $\mu\text{m}$  (obr. 53).



Obrázek 53: Filtrování roztoků přes filtrační papírky; pořízeno autorem

Po provedení přefiltrování vytvořených roztoků, se měří specifická konduktivita pomocí konduktometru (obr. 54).



Obrázek 54: Měření konduktivity pomocí konduktometru Greisinger GLF 100; pořízeno autorem

Na základě získaných hodnot je následně vypočítána specifická konduktivita  $\gamma$ . Pro výpočet se využívá vzorce (6):

$$\gamma = (\gamma_a - \gamma_b) * \frac{100}{P} \text{ [}\mu\text{S/cm]} \quad (6)$$

Kde:

$\gamma_a$  ... specifická konduktivita připraveného vzorku [ $\mu\text{S/cm}$ ]

$\gamma_b$  ... specifická konduktivita ultračisté vody [ $1 \mu\text{S/cm}$ ]

100 ... referenční hmotnost 100 mg

P ... hmotnost prášku připraveného z primárního vzorku [mg]

Měření konduktivity bylo prováděno na dvou vzorcích roztoku z cihel plných pálených (označení C1 - C2) a také na dvou vzorcích z břidličného kamene (označení K1 - K2). Naměřené hodnoty a vypočítané specifické konduktivity jsou uvedeny v tabulce č. 13.

Tabulka 13: Stanovení specifické konduktivity připravených roztoků

Označení vzorku	Hmotnost P [mg]	Specifická konduktivita roztoku $\gamma_a$ [ $\mu\text{S/cm}$ ]	Specifická konduktivita $\gamma$ [ $\mu\text{S/cm}$ ]
C1	105	49	46
C2	99	40	39
K1	99	62	62
K2	104	54	51

Konduktivita nám ukazuje schopnost vodních roztoků vést elektrický proud. Díky této vlastnosti jsme schopni odhadnout koncentraci iontově rozpuštěných látek. V případě zkoušených

vzorků je konduktivita roztoků z břidlice vyšší než u cihel. Na základě toho je možné říci, že jsou tyto roztoky bohatší na ionty látek, které zvyšují elektrickou vodivost. Tyto látky však mohou být vyluhovány i z přirozených minerálních složek, které kámen nebo cihla obsahují, a nemusí se tak jednat o jejich kontaminaci. Podle druhé zkoušky, tedy stanovování obsahu vodorozpustných solí pomocí indikačních papírků, bude možné porovnat, zda není v roztocích z břidlice zvýšené zastoupení právě nežádoucích solí.

#### 5. 4. 6. 2. Stanovení zasolení pomocí indikačních papírků

Stanovení obsahů solí pomocí indikačních papírků dopomáhá ke zjištění zastoupení nejškodlivějších druhů solí pro stavební materiály. Při průzkumu konstrukcí je nutné se zaměřit především na sírany, chloridy a dusičnany. Indikační papírky vyhodnotí, zda se zmíněné soli v materiálu nachází a jaké je jejich přibližné množství.

Pro zkoušku se opět připravuje zkušební roztok. Na laboratorní váze se naváží cca 10 g (P) připraveného prášku s přesností na 0,1 g. Prášek se následně nasype do uzavíratelné nádoby a doplní se do 100 ml (V) ultra čistou vodou. Nádoba je uzavřena na dobu 24 hodin a pravidelně promíchávána. Před zkoušením je nutné nechat roztok odstát po dobu 2 hodin. Připravený roztok je nutné přefiltrovat přes filtr 0,45  $\mu\text{m}$ . Samotné měření probíhá ponořením indikačního papírku do roztoku po dobu 1 s. Po uplynutí stanoveného časového intervalu se odečte obsah solí pomocí porovnání zbarvení indikačního papírku se stupnicí (obr. 55) stanovenou výrobcem (Quantofix).



Obrázek 55: Porovnávání zbarvení indikačních papírků se stupnicí; zleva sulfáty, nitrity, chloridy; pořízeno autorem

Zkouška byla provedena na dvou vzorcích roztoku vytvořeného z prášku cihel plných pálených (označení C3 - C4) a dvou roztocích z prášku přírodní břidlice (K3 - K4).

Po získání veškerých hodnot obsahu vodorozpustných solí (tab. 14) je možné provést vyjádření procentuálního zastoupení jednotlivých iontů I [%] (tab. 15) dle vzorce (7):

$$I = \left[ (C) * \left( \frac{V}{F} \right) * \left( \frac{1}{P} \right) \right] * 100 \text{ [%]} \quad (7)$$

Kde:

I ... váhové procento [mg/mg] jednoho kationtu nebo aniontu [%]

C ... koncentrace jednoho iontu v roztoku [mg/l]

V ... objem extrakční vody [V = 100 ml]

F ... faktor konverze ml na l [F = 1000]

P ... hmotnost práškového vzorku [mg]

**Tabulka 14: Vyhodnocení koncentrací jednotlivých iontů v roztoku pomocí indikačních papírků**

Označení vzorku	Hmotnost P [mg]	Koncentrace jednoho iontu v roztoku [mg/l]			
		Sírany $SO_4^{2-}$	Dusičnany $NO_3^-$	Dusitany $NO_2^-$	Chloridy $Cl^-$
C3	10 020	< 200	500	1	0
C4	10 005	< 200	500	1	0
K3	10 025	< 200	500	1	0
K4	9 905	< 200	500	1	0

**Tabulka 15: Procentuální zastoupení jednotlivých iontů a kationtů v roztoku**

Označení vzorku	Váhové procento jednoho kationtu nebo aniontu I [%]			
	Sírany $SO_4^{2-}$	Dusičnany $NO_3^-$	Dusitany $NO_2^-$	Chloridy $Cl^-$
C3	< 0,200	0,499	0,001	0,000
C4	< 0,200	0,500	0,001	0,000
K3	< 0,200	0,499	0,001	0,000
K4	< 0,202	0,505	0,001	0,000

Dle výsledků získaných pomocí indikačních papírku (tab. 13, 14) bylo zjištěno, že zasolení obou materiálů odlišných zdících prvků je totožné. U vzorků nepozorujeme ani zvýšené procentuální zastoupení dusičnanů, což značí to, že objekt nebyl s největší pravděpodobností využíván pro ustájení dobytka.

Na základě normy ČSN P 730610 [8] je možné provést hodnocení stupně zasolení zkoušených zdících prvků (tab. 16).

**Tabulka 16: Zatřídění vzorků podle obsahu soli dle ČSN P 730610**

Stupeň zasolení zdiva	Obsah solí v % hmotnosti		
	Chloridy	Dusičnany	Sírany
	% hm	% hm	% hm
NÍZKÝ	< 0,075	< 0,1	< 0,5
ZVÝŠENÝ	0,075 - 0,20	0,1 - 0,25	0,5 - 2,0
VYSOKÝ	0,20 - 0,50	0,25 - 0,50	2,0 - 5,0
VELMI VYSOKÝ	> 0,50	> 0,50	> 5,0

Pomocí hodnot z normy ČSN P 730610, sloužících pro určování stupně zasolení, je možné říci, že všechny vzorky, ať už z cihel nebo kamene, je možné zařadit k nízkému stupni zasolení zdiva. Příčinou může být také značná výška odběru konkrétně 2,1 m.

U měření konduktivity materiálů byla zjištěna vyšší konduktivita u roztoků z břidlice, což zapříčiňují patrně ionty, pocházející s největší pravděpodobností z minerálů dané horniny. Dle indikačních papírků však tyto roztoky neobsahují větší zastoupení nežádoucích solí než cihelné roztoky. Na základě tohoto zjištění je možné říci, že konduktivitu zkoušených materiálů ovlivňují nebezpečné vodorozpustné soli jen minimálně.

#### **5. 4. 7. Stanovení pevností zdících prvků v tlaku**

Poslední zjišťovanou charakteristikou zdících prvků byla pevnost v tlaku. Ke stanovování byly použity dvě zkušební metody. Na vzorcích odebraných z konstrukce bylo provedeno destruktivní zkoušení s využitím lisu a semidestruktivní zkoušení za pomoci Kučerovy vrtačky. Přestože se zkouška Kučerovou vrtačkou provádí především IN SITU, byla v mém případě prováděna v laboratoři kvůli možnému porovnání hodnot získaných destruktivně a semidestruktivně.

##### **5. 4. 7. 1. Stanovení pevnosti v tlaku pomocí zkušebního lisu**

Zkouška byla prováděna na základě normy ČSN EN 772-1 [4]. Pro zkoušení bylo vytvořeno mokrým řezáním 10 vzorků z cihel plných pálených o rozměrech cca 50x50x50 mm a 8 vzorků z přírodní břidlice přibližného rozměru 10x10x10 mm. Všechny vzorky byly po nařezání zabroušeny pro získání rovných hran. Před samotným zahájením zkoušení bylo nutné nechat vzorky vysušit. Pro získání přirozené laboratorní vlhkosti byly ponechány po dobu 14 dnů v laboratorním prostředí.

Připravené vzorky jsou vkládány do zkušebního lisu. Při uložení vzorků je nutné dbát na dostřednost, aby byly vzorky rovnoměrně zatěžovány po celé ploše. Následně je spuštěno zatěžování. Přístroj rovnoměrně zvyšuje zatížení působící na zkušební vzorek až do doby porušení. Po porušení vzorku se zaznamenává maximální dosažené zatížení. Výsledná pevnost materiálu se následně vypočítá vydělením maximální síly zatěžovací plochou vzorku.

První zkoušené vzorky byly krychle z cihel plných pálených (obr. 56). Výsledky naměřených pevností se nachází v tabulce č. 17 a veškeré hodnoty pak v příloze č. 10.





Obrázek 56: Umístění krychle z cihly plně pálené do zkušební lisu; pořízeno autorem

Tabulka 17: Pevnosti cihelných prvků v tlaku

Krychle vyrobené z cihel plných pálených	
Výběrový průměr vyšetřované pevnosti cihel v tlaku $R_p$ [MPa]	14,7
Výběrová směrodatná odchylka $\sigma$ [MPa]	6,8
Interval spolehlivosti $< R_p - 3 * \sigma; R_p + 3 * \sigma >$	$< 0; 35,1 >$
Pevnost krychlí vyrobených z cihel plných pálených $R$ [MPa]	14,5

Pro stanovení průměrné hodnoty pevnosti cihel v tlaku byl vypočten interval spolehlivosti (příloha č. 10). Na základě stanoveného rozmezí nebyl z výpočtu vyřazen žádný výsledek. Průměrná hodnota pevnosti v tlaku byla stanovena na 14,5 MPa.



Obrázek 57: Vzorek MAT-P-3 po provedení zkoušky

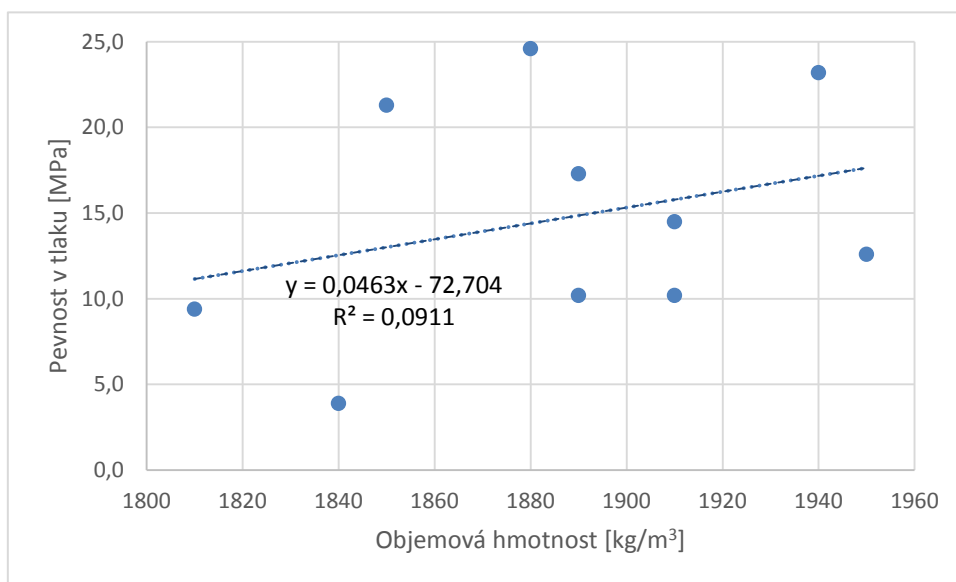


Obrázek 58: Vzorek MAT-P-8 po provedení zkoušky

Nejvýraznější porušení vykazoval vzorek s označením MAT-P-3 (obr. 57), vzorek rovněž nevydržel příliš velké zatížení. Na této krychli však byly viditelné trhlinky ještě před zahájením samotného zkoušení, proto nebyly očekávány příliš dobré výsledky. Při porušení jednotlivých vzorků

zaujal největší pozornost vzorek nazvaný MAT-P-8. Na první pohled se jednalo o krychle světle oranžové barvy, jako u ostatních vzorků, po jeho rozlomení se však ukázalo, že uvnitř se nachází tmavě červený kus vypáleného jílu (obr. 58). Tento úkaz byl pravděpodobně způsoben různou kvalitou použitých hlín k výpalu.

Vzhledem ke známé hodnotě objemové hmotnosti zkoušených vzorků je možné provést vyhodnocení závislosti mezi ní a pevností v tlaku (obr. 59). Na základě níže uvedeného grafu je možné říci, že čím je větší objemová hmotnost prvku, tím je větší také pevnost v tlaku.



Obrázek 59: Grafické vyjádření závislosti pevnosti v tlaku na objemové hmotnosti

Po odzkoušení všech cihelných vzorků bylo provedeno testování břidličného kamene. Vzorky byly zkoušeny na pevnost v tlaku rovnoběžně s vrstvením (obr. 60). Vzorky tak malých rozměrů vykazují větší pevnosti, proto byl vybrán směr zatěžování, který je pro materiál kritičtější. Výsledky naměřených pevností jsou uvedeny v tabulce č. 18 a příloze č. 11.



Obrázek 60: Vzorek břidličného kamene po provedení zkoušky; pořízeno autorem

Tabulka 18: Pevnosti kamenných prvků v tlaku

Krychle vyrobené z břidlice	
Výběrový průměr vyšetřované pevnosti kamene v tlaku $R_p$ [MPa]	58,3
Výběrová směrodatná odchylka $\sigma$ [MPa]	17,2
Interval spolehlivosti $< R_p - 3 \cdot \sigma; R_p + 3 \cdot \sigma >$	$< 6,7; 109,9 >$
Pevnost krychlí vyrobených z břidličného kamene $R$ [MPa]	58,5

Aby bylo možné určit průměrnou hodnotu pevnosti v tlaku, bylo nutné opět vyřadit hodnoty nevyhovující stanovenému intervalu spolehlivosti (příloha č. 11). Jelikož z výpočtu nebyl vyřazen žádný ze získaných výsledků, průměrná hodnota pevnosti byla stanovena na 58,5 MPa.

Dle předpokladu vyšla hodnota pevnosti kamene v tlaku vyšší než v případě cihel plných pálených. Pevnost kamene 58,5 MPa je více než 4x větší než pevnost 14,5 MPa u cihel. Kamenné zdivo je však mnohem těžší než cihelné. Při znalosti těchto charakteristik je jasné využití cihel pro vytvoření překladů. V tomto případě použití je využito především jejich nižší hmotnosti.

#### 5. 4. 7. 2. Stanovení pevnosti v tlaku pomocí Kučerovy vrtačky

Pevnost v tlaku pomocí Kučerovy vrtačky (obr. 61) byla stanovována na 10 vzorcích cihel plných pálených a 7 vzorcích břidličného kamene. Do každé cihly bylo provedeno 6 vrtů ve vzdálenosti přibližně 30-40 mm od okraje a předchozího vrtu. Vzhledem k velikosti kamene nebylo možné provést stejné množství vrtů jako v případě cihel. Každý zkoušený kus břidlice byl tedy navrtán pouze třikrát. Hodnocení je závislé na hloubce jednotlivých vrtů, přičemž pevnost v tlaku je stanovována dle kalibračních vztahů.



Obrázek 61: Navrtávání břidlice pomocí Kučerovy vrtačky; pořízeno autorem

Z pevností získaných na základě kalibračních je nutné určit výslednou průměrnou hodnotu. Tu zjistíme pomocí vzorců (8) až (10) [12]:

$$R_m = \frac{1}{n} \sum x_i \text{ [MPa]} \quad (8)$$

$$S_r = \frac{1}{n-1} \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \text{ [-]} \quad (9)$$

$$R = R_m - t_n * S_r \text{ [MPa]} \quad (10)$$

Kde:

$R_m$  ... výběrový průměr zjišťované pevnosti v tlaku [MPa]

$S_r$  ... výběrová směrodatná odchylka [MPa]

$t_n$  ... součinitel pro odhad dolní hranice konfidenčního intervalu průměru, stanovovaný s pravděpodobností  $P=0,9$  na základě počtu zkušebních vzorků (tab. 19) [-]

**Tabulka 19: Hodnoty součinitele  $t_n$  [12]**

Počet vzorků $n$	$t_n$	Počet vzorků $n$	$t_n$
5	0,68	15	0,35
6	0,60	20	0,30
7	0,54	25	0,26
8	0,50	30	0,24
9	0,47	40	0,21
10	0,44	50	0,18
12	0,39	100	0,13

Prvním zkoušeným materiálem byly cihly plné pálené. Pro cihly jsou dány kalibrační vztahy na přepočet pevnosti výrobcem Kučerovy vrtáčky (tab. 20).

**Tabulka 20: Kalibrační vztahy pro přepočet pevnosti cihel [12]**

Hloubka vrtu [mm]	Pevnost v tlaku [MPa]	Hloubka vrtu [mm]	Pevnost v tlaku [MPa]	Hloubka vrtu [mm]	Pevnost v tlaku [MPa]
<b>2</b>	23,8	<b>12</b>	9,7	<b>22</b>	7,2
<b>3</b>	19,5	<b>13</b>	9,3	<b>23</b>	7
<b>4</b>	16,9	<b>14</b>	9	<b>24</b>	6,9
<b>5</b>	15,1	<b>15</b>	8,7	<b>25</b>	6,7
<b>6</b>	13,8	<b>16</b>	8,4	<b>26</b>	6,6
<b>7</b>	12,7	<b>17</b>	8,2	<b>27</b>	6,5
<b>8</b>	11,9	<b>18</b>	7,9	<b>28</b>	6,4
<b>9</b>	11,2	<b>19</b>	7,7	<b>29</b>	6,3
<b>10</b>	10,7	<b>20</b>	7,5	<b>30</b>	6,2
<b>11</b>	10,2	<b>21</b>	7,4		

Na základě těchto vztahů a výše uvedených vzorců byl proveden výpočet průměrné pevnosti cihel v tlaku (tab. 21, Příloha č. 12).

**Tabulka 21: Pevnosti cihelných zdících prvků získané dle Kučerovy vrtačky**

<b>Celé cihelné zdící prvky</b>	
Výběrová hodnota přepočtené pevnosti v tlaku cihly $R_m$ [MPa]:	10,8
Výběrová směrodatná odchylka $S_r$ [MPa]:	3,55
Součinitel pro odhad dolní hranice konfidenčního intervalu $t_n$ [-]:	0,44
Pevnost v tlaku cihelných zdících prvků $R$ [MPa]:	9,0

Pro stanovování pevnosti kamenných prvků bylo nejprve nutné vytvořit kalibrační vztahy. Ty byly získány dle provedených zkoušení pevností ve zkušebním lisu (tab. 22). K vytvoření kalibračních vztahů dopomáhá provedení různých zkoušek na tomtéž materiálu. Je známo, že vzorky s označením MAT-P-1 a MAT-P-2 odpovídají vzorku č. 6 testovanému Kučerovou vrtačkou. A dále vzorky MAT-P-7 a MAT-P-8 jsou shodné se semidestruktivně zkoušeným vzorkem č. 7. Přiřadíme tedy průměrné pevnosti k hloubce navrtání (tab. 22). Díky této znalosti je možné vytvořit kalibrační vztah pro přírodní břidlici (tab. 23), který je platný pro daný materiál v místě stavby.

**Tabulka 22: Přiřazení známých pevností k hloubce navrtání**

<i>Označení vzorku</i>	<i>Pevnost v tlaku <math>R</math> (MPa)</i>	<i>Přepočtená pevnost v tlaku [MPa]</i>	<i>Průměrná hodnota hloubky navrtání [mm]</i>
MAT-P-1	62,8	56,4	4
MAT-P-2	50,0		
MAT-P-7	42,0	49,6	8
MAT-P-8	57,1		

**Tabulka 23: Odvození potřebných kalibračních hodnot pro pevnosti břidlice**

<i>Hloubka vrtu [mm]</i>	<i>Pevnost v tlaku [MPa]</i>
<b>4</b>	56,4
<b>5</b>	54,7
<b>6</b>	53,0
<b>7</b>	51,3
<b>8</b>	49,6

Kalibrační vztahy byly vytvořeny na základě lineární závislosti, získaná data nemusí plně odpovídat reálným hodnotám, jedná se pouze o přibližné určení. Dle vytvořených vztahů je možné provést vyhodnocení provedených vrtů (tab. 24, příloha č. 13).

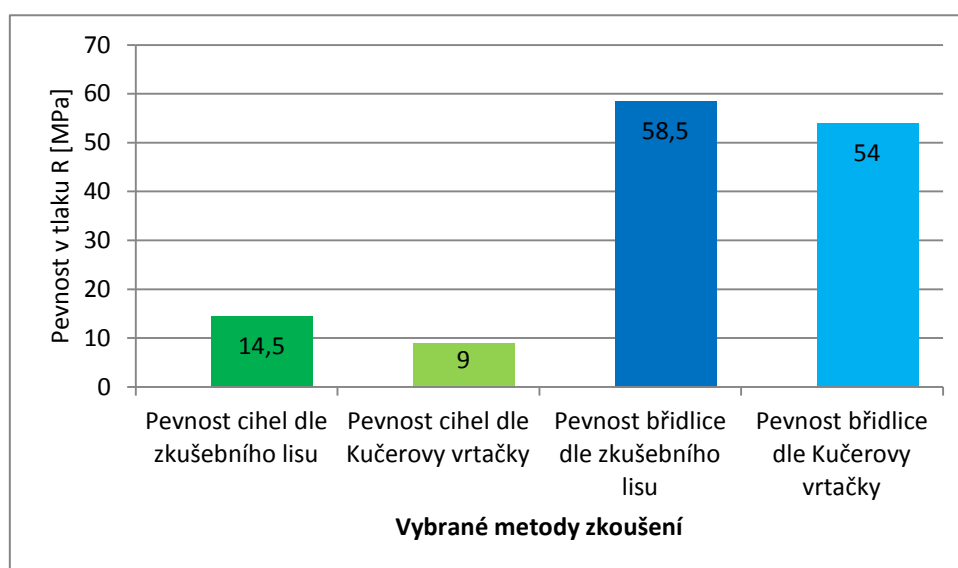


Tabulka 24: Pevnosti kamenných zdících prvků určených na základě kalibračního vztahu dle Kučerovy vrtačky

Celé kamenné zdící prvky	
Výběrová hodnota přepočtené pevnosti v tlaku kamene $R_m$ [MPa]:	54,2
Výběrová směrodatná odchylka $S_r$ [MPa]:	0,82
Součinitel pro odhad dolní hranice konfidenčního intervalu $t_n$ [-]:	0,54
Pevnost v tlaku kamenných zdících prvků $R$ [MPa]:	54,0

Pevnost cihel plných pálených získaná semidestruktivním zkoušením je nižší než při zkoušení ve zkušebním lisu. Destruktivní zkoušení dává vždy přesnější výsledky měření, proto je třeba při posuzování brát v úvahu spíš hodnotu z lisu. Ne vždy je však možné toto zkoušení provést, proto se využívá jako alternativa v případě cihel především Kučerova vrtačka. Jak je však vidět ze získaných výsledků, může být rozdíl hodnot až 38 % (obr. 62). Důvodem může být také ale značně degradovaný povrch cihel.

Rozdíl hodnot mezi zkouškou pevnosti v lisu a pevností dle Kučerovy vrtačky není tak velký jako v případě cihelných prvků, tvoří pouze cca 8 % (obr. 62). Příčinou je ale vytvoření usměrněného kalibračního vztahu pro daný materiál. Z toho plyne i značný význam provádění tzv. upřesněných zkoušek vždy pro konkrétní stavbu. U cihel musíme brát získané výsledky s patřičnou rezervou, nejlépe si je ověřit ještě pomocí destruktivního zkoušení.



Obrázek 62: Porovnání pevností cihel a břidlice dle různých metod zkoušení

## 5. 5. Zhodnocení

Na základě podrobného stavebně technického průzkumu došlo ke stanovení základních charakteristik cihelných a kamenných zdících prvků. Díky určení objemové hmotnosti, především u cihel plných pálených, bylo možné vyjádřit její ovlivňování ostatních vlastností materiálu. Velkým dílem se podílí hlavně na výsledné nasákavosti a pevnosti v tlaku.

U nasákavosti zdících prvků dosahovala zkoušená břidlice mnohem menších hodnot než cihly plné pálené. Vzhledem k této informaci je pochopitelné, že cihelné prvky podléhají degradacím

mnohem rychleji než použitý kámen. Při zkoušení nasákavosti došlo rovněž k určení rozdílu v přesnosti měření u celých a nařezaných zdících prvků.

Při nasákavosti vody kapilárním vztlínání bohužel nebylo možné provést porovnávací měření na krychlích z přírodní břidlice. Vzhledem k lámavosti tohoto materiálu nešlo vyrobit požadované množství vzorků. Tato zkouška byla tedy prováděna pouze na cihlách. Díky tomuto experimentu je možné pozorovat, jak přenos vody ve vzorku ovlivňuje různá koncentrace makropórů a kapilár.

Stanovení zasolení ukázalo, že zkoumané zdivo podléhá pouze nízkému stupni zasolení. Cihly i kámen vykazovaly totožné hodnoty kvantitativního obsahu škodlivých solí. Není tedy možné říci, že by nějaký z použitých prvků přímo ohrožoval výskyt těchto solí.

Pevnosti břidlice v tlaku byla na základě provedených zkoušek až 4x větší než v případě cihel. Tato vlastnost může být jedním z důvodů, proč je kámen na stavebním objektu téměř nepoškozen na rozdíl od použitých cihel. Díky porovnání pevností získaných v laboratorním lisu a pomocí Kučerovy vrtačky je rovněž možné říci, že pro každou stavbu je pro nedestruktivní a semidestruktivní metody vhodné provádět tzv. upřesněné zkoušky, tedy kombinaci destruktivního a nedestruktivního nebo semidestruktivního zkoušení.

Majitelé stavebního objektu prováděli při přístavbě částečnou sanaci původních zděných konstrukcí. Došlo především k očištění spár od biologického znečištění na severní a východní straně zdiva a doplnění spárovací hmoty (obr. 63). Významným zásahem do původního objektu bylo také úplně zazdění vzdálenějšího dveřního otvoru a zmenšení bližšího otvoru pro možné umístění okna. Při takovýchto úpravách je nutné dbát na důkladné provázání původních a nových částí zdiva. Pokud nebylo v tomto případě zdivo řádně provázáno, mohlo by dojít k následné poruše v tomto úseku stavby.



**Obrázek 63: Kamenné zdivo severní a východní strany objektu po provedení sanačního zásahu; pořízeno autorem**

Maltovina byla doplněna do zvětralých spár v kamenném zdivu také na straně jižní (obr. 64), použitým materiálem byla zdící a spárovací vápenocementová malta Salith.



Obrázek 64: Kamenné zdivo jižní strany objektu po provedení sanačního zásahu; pořízeno autorem

Největším zásahem do stavebního objektu ale byla výměna materiálu překladů nad všemi otvory. Veškeré původní cihelné překlady byly rozebrány a nahrazeny překlady kamennými (obr. 65). Před uložení jednotlivých kamenů byla nad otvor vložena krycí deska z velkého soudržného kusu břidlice. Ta by měla zajistit roznesení zatížení z vyšších vrstev zdiva do ostění. Změnilo se tak statické uspořádání konstrukce, které nemusí pro daný případ být úplně vhodné.



Obrázek 65: Upravená nadpraží a ostění okna na jižní straně objektu; pořízeno autorem

Provedením výše zmíněných úprav na stavebním objektu došlo především ke snížení relativní vlhkosti vzduchu uvnitř původní stodoly na 55 % z původních 80 %. Snížení vlhkosti uvnitř objektu bude mít do budoucna pozitivní vliv na zpomalení procesů degradace.

Vzhledem k zásadním úpravám nadpraží a ostění veškerých otvorů bych však doporučila majitelům důkladné sledování těchto možných kritických míst a jejich okolí a rychlé jednání v případě nalezení trhlin, či podobných známek narušení statiky jednotlivých částí zdiva.

## 6. Závěr

V rámci mé práce jsem měla za úkol posoudit kombinace dvou různých materiálů ve zděné konstrukci. Součástí řešené problematiky smíšeného zdiva bylo provedení stavebně technického průzkumu reprezentativního objektu. Průzkum probíhal za účelem především posouzení základních charakteristik použitých materiálů.

Při zkoumání použitých cihel plných pálených a břidlice jsem čerpala z mých dosavadních znalostí, společně s použitím normových podkladů, příslušné literatury a internetových zdrojů, které jsou uvedeny v použitých zdrojích.

Díky naměřeným a vypočítaným výsledkům je možné říci, že břidlice dosahuje daleko vyšších pevností v tlaku než cihly plné pálené. Těchto vyšších pevností však dosahuje kámen na úkor daleko větších objemových hmotností. Díky kameni máme sice pevnější zdivo, ale také mnohonásobně těžší. Kamenné zdivo tedy vyvoluje znatelnější účinky zatížení na ostatní konstrukce objektu. V tomto případě je výhodou odlehčení konstrukce nad otvory pomocí cihelných překladů.

V případě nasákavosti zkoumaných zdících prvků vyšel kámen opět podstatně lépe než cihly plné pálené. Nasákavost cihel byla několikanásobně vyšší než u kamene. Na základě této charakteristiky lze říci, že cihly vlivem působení vlhkosti podléhají mnohem rychleji různým způsobům degradace. Nebezpečím u vysoké nasákavosti je také snižování mrazuvzdornosti jednotlivých prvků.

Dle zjištěných charakteristických vlastností zkoumaných zdících prvků není možné jednoznačně říci, který z nich je lepší, či horší. Každý z těchto prvků má svá pro a proti. Právě díky těmto znalostem se začalo smíšené zdivo používat. Je v něm totiž možné výhodné vlastnosti materiálů skombinovat tak, abychom došli k značně lepší výsledným vlastnostem zdiva.

Na základě vypracování této bakalářské práce jsem získala rozsáhlejší znalosti v oblasti nejen smíšených zděných konstrukcí, ale také jednotlivých historických materiálů. Tato práce pro mě byla rovněž přínosem pro možnou aplikaci teoretických znalostí do praxe.

## Seznam použitých zdrojů

### Seznam použitých norem

- [1] ČSN EN 1097-6 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti (2014)
- [2] ČSN EN 15801 Ochrana kulturního dědictví – Metody zkoušení – Stanovení nasákavosti vody kapilárním vztlínáním (2010)
- [3] ČSN EN 16455 Ochrana kulturního dědictví – Stanovení obsahu vodorozpustných solí v přírodním kameni a v příbuzných historických materiálech (2015)
- [4] ČSN EN 772-1 Zkušební metody pro zdící prvky – Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku (2016)
- [5] ČSN EN 772-13 Zkušební metody pro zdící prvky – Část 13: Stanovení objemové hmotnosti materiálu zdících prvků za sucha a objemové hmotnosti zdících prvků za sucha (kromě zdících prvků z přírodního kamene) (2001)
- [6] ČSN EN 772-21 Zkušební metody pro zdící prvky – Část 21: Stanovení nasákavosti pálených a vápenopískových zdících prvků ve studené vodě (2011)
- [7] ČSN ISO 13822 (730038) Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [8] ČSN P 730610 Hydroizolace staveb - Sanace vlhkého zdiva - Základní ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2001.

### Seznam použité literatury

- [9] HANYKÝŘ, Vladimír a Jaroslav KUTZENDÖRFER. *Technologie keramiky*. Praha: Silikátový svaz, 2008. ISBN 978-80-86821-48-1.
- [10] KOLEKTIV AUTORŮ. *Historické způsoby opracování kamene, metody průzkumu a kritéria výběru náhradního kamene kvádrového zdiva*, Praha, 2013, ISBN 978-80-7037-229-6
- [11] KOLEKTIV AUTORŮ: *Vybrané kapitoly k tématu péče o stavební a umělecké památky II. Díl.*, Praha: Idea servis, 2008. ISBN 978-80-85970-62-3.
- [12] Návod k používání přístroje pro zjišťování pevnosti zdících prvků a malty typ PZZ01. Praha: Technický a zkušební ústav stavební Praha, s. p., 2004
- [13] PYTLÍK, Petr a Radomír SOKOLÁŘ. *Stavební keramika: technologie, vlastnosti a využití*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-720-4234-3.
- [14] SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty*. Bratislava: Jaga, 2004. ISBN 80-807-6007-1.



- [15] ŠEFCŮ, Ondřej. *Architektura: lexikon architektonických prvků a stavebního řemesla*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-3120-9.
- [16] ŠEFCŮ, Ondřej a Bohumil ŠTUMPA. *100 osvědčených stavebních detailů: tradice z pohledu dneška*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3114-8.
- [17] ŠKABRADA, Jiří. *Konstrukce historických staveb*. Praha: Argo, 2003. ISBN 80-720-3548-7.
- [18] ŠTUMPA, Bohumil a Ondřej ŠEFCŮ. *100 osvědčených stavebních detailů: zednictví*. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN 978-80-247-3580-1.
- [19] WITZANY, Jiří. *PDR - poruchy, degradace a rekonstrukce*. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.

### Seznam použitých internetových odkazů

- [20] *Badatelna 2021: Historie cihel se značkami* [online]. [cit. 2021-3-1]. Dostupné z: [http://davar.cz/badatelna/xref/cih\\_historie.htm](http://davar.cz/badatelna/xref/cih_historie.htm)
- [21] *Česká břidlice: Historie těžby* [online]. [cit. 2021-3-30]. Dostupné z: <https://www.ceskabridlice.cz/clanky/historie-tezby/>
- [22] *Český statistický úřad: Počet obyvatel v obcích - k 1.1.2020* [online]. [cit. 2021-4-6]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/obyvatelstvo\\_lide](https://www.czso.cz/csu/czso/obyvatelstvo_lide)
- [23] *Digitální knihovna SPŠ stavební Opava: Svislé nosné konstrukce* [online]. [cit. 2021-3-1]. Dostupné z: [http://dk.spsopava.cz:8080/fotogalzoom.php?adr=XlgijK\\_20150120\\_141854](http://dk.spsopava.cz:8080/fotogalzoom.php?adr=XlgijK_20150120_141854)
- [24] *Mapová aplikace: Česká geologická služba* [online]. [cit. 2021-3-30]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace>
- [25] *Mapová aplikace: Mapy.cz* [online]. [cit. 2021-3-30]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=18.2696000&y=49.8491000&z=11>
- [26] NEHYBKA, Josef. *Diplomová práce VUT: PŘÍPRAVA HISTORICKÝCH POJIV S VYSOKOU ODOLNOSTÍ PROTI OKOLNÍM VLIVŮM* [online]. [cit. 2021-3-1]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=191172](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=191172)

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Objekt postavený z nepálených cihel [11] .....	2
Obrázek 2: Cihelné zdivo kostela sv. Petra a Pavla v Kralovicích z 2. poloviny 16. století [17] .....	3
Obrázek 3: Výrobní linka na lícové cihly firmy Roben; pořízeno autorem .....	5
Obrázek 4: Cihelné prvky včetně kolkování [11] .....	5
Obrázek 5: Lom hořického pískovce v Podhorním Újezdu [10].....	12
Obrázek 6: Spárování kamenného zdiva vápennou maltou [11] .....	15
Obrázek 7: Příklady některých vazeb cihelného zdiva [18] .....	16
Obrázek 8: Gotické lomové zdivo. Hrad Karlshaus z poloviny 14. století [17] .....	17
Obrázek 9: Ukázka zdiva z čistých kopáků [18] .....	18
Obrázek 10: Ukázka kvádrového zdiva s hladkou lícni plochou [18].....	18
Obrázek 11: Základový pás dvoustupňový z kamene [16] .....	19
Obrázek 12: Příklady smíšeného zdiva [23].....	20
Obrázek 13: Různé typy emplektonů [26].....	20
Obrázek 14: Nároží zděného patrového klasicistního domu na návsi v Zubrnicih u Ústí nad Labem. [17] .....	20
Obrázek 16: Příklad záklenku na baště původních městských hradeb – park, ulice Na Valech, Hlučín; pořízeno autorem.....	21
Obrázek 15: Příklad cihelného nadpraží v kamenném zdivu – Základní škola Hlučín, Gen. Svobody 8, Hlučín; pořízeno autorem.....	21
Obrázek 17: Ukázka vyplnění prostoru mezi kameny cihlou plnou pálenou – bašta bývalého městského opevnění, ulice Gen. Svobody, Hlučín; pořízeno autorem .....	22
Obrázek 18: a) Příklad nekvalitně provedeného zdiva; b) Zdivo z lomového kamene; c) Smíšené zdivo [19] .....	23
Obrázek 19: Trhliny ve zdivu způsobené deformacemi základových spár [19] .....	24
Obrázek 20: Degradace povrchových vrstev cihelného zdiva [19].....	28
Obrázek 21: Degradace sedimentárního kamene, usazování solí na povrchu [19] .....	29
Obrázek 22: Degradace kamenného zdiva řasami [19] .....	30
Obrázek 23: Přítomnost bakterií na povrchu stavebního kamene (vlevo) a omítky (vpravo) [19] .....	30
Obrázek 24: Vývojový diagram pro postup hodnocení existujících konstrukcí [7] .....	32
Obrázek 25: Umístění stavby [25] .....	34
Obrázek 26: Původní objekt stodoly [25] .....	35
Obrázek 27: Uspořádání půdorysu nového 1. NP; PD investora.....	35
Obrázek 28: Stodola z východního pohledu od příjezdové cesty po provedení přístavby a nástavby; pořízeno autorem.....	36
Obrázek 29: Pohled na jižní stranu objektu; pořízeno autorem .....	37
Obrázek 31: Západní strana objektu; pořízeno autorem .....	37
Obrázek 30: Okenní otvory na jižní straně; pořízeno autorem .....	37
Obrázek 32: Severní strana objektu; pořízeno autorem .....	38
Obrázek 33: Částečně zazděný dveřní otvor - nově vytvořený okenní otvor; pořízeno autorem .....	38
Obrázek 34: Biologické povlaky ve spárách v horní části 1. nadzemního podlaží; pořízeno autorem..	39
Obrázek 35: Kořínky vystupující ze zdiva; pořízeno autorem .....	39
Obrázek 36: Vyznačení vzdušných vzdáleností nejblíže břídičných lomů [25] .....	40
Obrázek 37: Vyhledání ložisek pomocí geovědní mapy; vhodná jílovitá zemina označena č. 13 [24]..	41

Obrázek 38: Vyhledání ložisek pomocí geovědní mapy v obci Karlovice - včetně umístění objektu; vhodná jílovitá zemina označena č. 13 [24] .....	41
Obrázek 39: Úprava překladů a ostění okenních otvorů; vlevo foto před úpravou, vpravo foto po provedených úpravách; pořízeno autorem.....	42
Obrázek 40: Měření vzorku pomocí posuvného měřítka a vážení vzorku digitální laboratorní váhou s přesností na 0,1 g; pořízeno autorem .....	43
Obrázek 41: Grafické znázornění výsledků objemových hmotností .....	44
Obrázek 42: Vytvořená nádoba pyknometru; pořízeno autorem .....	45
Obrázek 43: Vzorky cihel plných pálených pro stanovení nasákavosti; pořízeno autorem .....	46
Obrázek 44: Vzorky kamene pro stanovení nasákavosti; pořízeno autorem.....	47
Obrázek 45: Vzorky umístěné do sušárny; pořízeno autorem .....	47
Obrázek 46: Grafické vyjádření nasákavosti na objemové hmotnosti prvků .....	48
Obrázek 47: Grafy znázorňující nasákavost jednotlivých vzorků .....	49
Obrázek 48: Příprava podkladu pro zkoušení nasákavosti kapilární vztlakovosti; pořízeno autorem ....	50
Obrázek 49: Sledování absorpce vody krátce po zahájení měření; pořízeno autorem .....	50
Obrázek 50: Kapilární křivky jednotlivých vzorků.....	51
Obrázek 51: Příklad lineární regrese u vzorku s označením MAT-KV-1 .....	52
Obrázek 52: Drcení a tření jednotlivých vzorků; pořízeno autorem .....	53
Obrázek 53: Filtrování roztoků přes filtrační papírky; pořízeno autorem .....	53
Obrázek 54: Měření konduktivity pomocí konduktometru Greisinger GLF 100; pořízeno autorem ....	54
Obrázek 55: Porovnávání zbarvení indikačních papírků se stupnicí; zleva sulfáty, nitrity, chloridy; pořízeno autorem.....	55
Obrázek 56: Umístění krychle z cihly plné pálené do zkušebního lisu; pořízeno autorem .....	58
Obrázek 57: Vzorek MAT-P-3 po provedení zkoušky	Obrázek 58: Vzorek MAT-P-8 po provedení zkoušky
58	58
Obrázek 59: Grafické vyjádření závislosti pevnosti v tlaku na objemové hmotnosti.....	59
Obrázek 60: Vzorek břidličného kamene po provedení zkoušky; pořízeno autorem .....	59
Obrázek 61: Navrtávání břidlice pomocí Kučerovy vrtačky; pořízeno autorem .....	60
Obrázek 62: Porovnání pevností cihel a břidlice dle různých metod zkoušení.....	63
Obrázek 63: Kamenné zdivo severní a východní strany objektu po provedení sanačního zásahu; pořízeno autorem.....	64
Obrázek 64: Kamenné zdivo jižní strany objektu po provedení sanačního zásahu; pořízeno autorem	65
Obrázek 65: Upravená nadpraží a ostění okna na jižní straně objektu; pořízeno autorem.....	65

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Vlastnosti vybraných cihelných prvků [9] .....	7
Tabulka 2: Vybrané vlastnosti magmatických hornin [11] .....	11
Tabulka 3: Vybrané vlastnosti sedimentárních hornin [11] .....	11
Tabulka 4: Vybrané vlastnosti metamorfovaných hornin [11].....	11
Tabulka 5: Hydratační tlaky vznikající při rekrystalizaci některých solí [19] .....	27
Tabulka 6: Značení zkoušených cihelných prvků .....	42
Tabulka 7: Značení zkoušených kamenných prvků .....	42

Tabulka 8: Stanovení objemových hmotností cihelných zdících prvků .....	44
Tabulka 9: Stanovení objemové hmotnosti kamene.....	46
Tabulka 10: Stanovení nasákavosti cihelných zdících prvků .....	48
Tabulka 11: Stanovení nasákavosti celých kamenných zdících prvků .....	49
Tabulka 12: Stanovení součinitele kapilární nasákavosti .....	52
Tabulka 13: Stanovení specifické konduktivity připravených roztoků .....	54
Tabulka 14: Vyhodnocení koncentrací jednotlivých iontů v roztoku pomocí indikačních papírků.....	56
Tabulka 15: Procentuální zastoupení jednotlivých iontů a kationtů v roztoku.....	56
Tabulka 16: Zatřídění vzorků podle obsahu soli dle ČSN P 730610.....	57
Tabulka 17: Pevnosti cihelných prvků v tlaku.....	58
Tabulka 18: Pevnosti kamenných prvků v tlaku .....	60
Tabulka 19: Hodnoty součinitele $t_n$ [12].....	61
Tabulka 20: Kalibrační vztahy pro přepočet pevnosti cihel [12] .....	61
Tabulka 21: Pevnosti cihelných zdících prvků získané dle Kučerovy vrtačky .....	62
Tabulka 22: Přiřazení známých pevností k hloubce navrtání .....	62
Tabulka 23: Odvození potřebných kalibračních hodnot pro pevnosti břidlice .....	62
Tabulka 24: Pevnosti kamenných zdících prvků určených na základě kalibračního vztahu dle Kučerovy vrtačky .....	63

## Seznam příloh

Příloha č. 1: Výkres s naznačením výskytu nalezených vad a poruch a stavebním objektu

Příloha č. 2: Výkres s vyznačením odběrných míst vzorků na stavebním objektu

Příloha č. 3: Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot pro stanovení objemové hmotnosti vyrobených cihelných krychlí

Příloha č. 4: Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot pro stanovení objemové hmotnosti celých cihelných zdících prvků

Příloha č. 5: Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot pro stanovení nasákavosti vyrobených cihelných krychlí

Příloha č. 6: Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot pro stanovení nasákavosti celých cihelných zdících prvků

Příloha č. 7: Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot pro stanovení nasákavosti celých kamenných zdících prvků

Příloha č. 8: Grafy kapilárních křivek jednotlivých prvků, včetně lineární regrese

Příloha č. 9: Tabulky naměřených a vypočítaných hodnot pro stanovení nasákavosti vody kapilárním vztlínáním

Příloha č. 10: Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot pro stanovení pevnosti cihel plných pálených v tlaku dle zkušebního lisu

Příloha č. 11: Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot pro stanovení pevnosti přírodní břidlice v tlaku dle zkušebního lisu

Příloha č. 12: Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot pro stanovení pevnosti cihel plných pálených v tlaku dle Kučerovy vrtačky

Příloha č. 13: Tabulka naměřených a vypočítaných hodnot pro stanovení pevnosti přírodní břidlice v tlaku dle Kučerovy vrtačky